



PROYECTO FIN DE CARRERA

PROCESOS DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS POTABILIZABLES

DEPARTAMENTO DE CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES E
INGENIERÍA QUÍMICA

AUTOR: FRANCISCO JAVIER ACEBRÓN ARRIBAS

TUTOR: ANTONIO AZNAR JIMÉNEZ

TITULACIÓN: INGENIERÍA INDUSTRIAL SUPERIOR

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Objetivos generales del proyecto.....	1
1.2 Descripción general del proyecto.....	2
1.3 Situación.....	4
2. Antecedentes.....	5
2.1 Cálculos hidráulicos.....	5
2.2 Propiedades hidráulicas del acuífero.....	18
2.3 Calidad del agua.....	33
2.4 Fundamentos de la desinfección.....	36
3. Diseño de instalaciones principales.....	39
3.1 Sistema de elevación.....	40
3.2 Tamizado.....	43
3.3 Desarenado y desengrasado.....	48
3.4 Filtrado de Arena.....	55

3.5 Cloración.....	63
3.6 Filtros de carbón activo.....	67
3.7 Cámara de mezcla.....	80
4. Calidad del agua.....	88
5. Sondas de control.....	92
5.1 Medidor de caudal.....	92
5.2 Sonda de turbidez.....	93
5.3 Sonda de cloro.....	94
5.4 Sonda de pH.....	94
5.5 Sonda de conductividad.....	96
6. Mantenimiento y explotación.....	99
7. Evaluación económica.....	101
7.1 Obra civil.....	101
7.2 Equipos electromecánicos.....	102
7.3 Instrumentación.....	104

7.4 Instalación eléctrica, telemando y control.....	104
7.5 Adecuación ambiental y plan de gestión de residuos..	105
7.6 Presupuesto final.....	105
8. Bibliografía.....	106
9. Planos	
10. Anexos	

1. Introducción

El presente proyecto consiste en la preparación de los cálculos y planos necesarios para la realización de una estación de tratamiento de agua para su potabilización y posterior consumo doméstico, con la utilización del carbón activo como tratamiento de afino.

Tanto los cálculos como los planos del presente proyecto se centran en el sistema y complementos necesarios para el tratamiento del agua potable y para el sistema de almacenamiento de los componentes que se requieren para ello.

1.1 Objetivos generales del proyecto

Con este proyecto de tratamiento de agua potable se persigue obtener una calidad de agua suficiente para ser consumido por el ser humano.

La legislación que se tendrá en cuenta sobre las condiciones que debe tener el agua para ser tratada y las características del agua potable obtenida será la enunciada en el Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. (BOE 45/2003, de 21 de febrero).

1.2. Descripción general del proyecto

A continuación se muestra un detalle descriptivo de los diferentes procesos de la estación de tratamiento de agua potable, en el que se recogen las diferentes etapas por las que se trata el agua así como las instalaciones auxiliares.

- El agua es bombeada hacia la superficie por medio del sistema de bombeo de elevación que consiste en una serie de bombas hidráulicas que generan un caudal de $1\text{m}^3/\text{s}$. Estas bombas producen una presión en el agua suficiente para elevar el agua a tratar hasta el nivel necesario.
- La siguiente operación por la que pasa el agua es el pretratamiento, que consiste en un previo desbaste con la utilización de tamices para la eliminación de sólidos de gran tamaño.
- Posteriormente dentro del pretratamiento se encuentra el sistema de desengrasado y desarenado que se realizará de manera conjunta dado que los contenidos en contaminantes a eliminar no son en este caso muy altos. Adicionalmente, este sistema también será necesario para la eliminación de posibles fugas ocurridas en el proceso de bombeo.

- El siguiente tratamiento por el que pasa el agua consiste en la filtración de arena, que será necesario para eliminar partículas del orden de 20 micras.
- Seguido a los filtros de arena se encuentran los filtros de carbón activo, que eliminarán los compuestos orgánicos del agua.

Adicionalmente, en algunas de estas fases se encuentran la introducción de los reactivos principales para la potabilización del agua:

- Entre los filtros de arena y los filtros de carbón de arena se encuentra el tratamiento de cloración con el que se conseguirá la eliminación de bacterias en el agua.
- Al final del tratamiento de carbón activo se encontrará la arqueta de mezclado donde se introducirá los reactivos para la cloración y la desinfección por amoníaco.

Por último se añadirán las instalaciones auxiliares, aquellas instalaciones necesarias para el almacenamiento y regeneración de los reactivos y los filtros. Por tanto los sistemas auxiliares serán los siguientes:

- Instalaciones de almacenamiento de cloro y de amoníaco.

1.3 Situación

El emplazamiento de la instalación de la estación de tratamiento de agua potable se situará en una zona llana, de fácil acceso para los trabajadores, y relativamente alejado de las zonas de residencia para evitar que el ruido de la instalación afecte a los ciudadanos.

Además el lugar debe tener algunas condiciones de temperatura y humedad para que no condicionen las medidas que se llevarán a cabo en el agua para garantizar su calidad, tales como pH, niveles de DBO, etc.

El espacio que se necesitará será de 4000 m² para la construcción de todos los procesos de la instalación.

2. Antecedentes

2.1 Cálculos hidráulicos

Para la realización de los cálculos necesarios en el estudio de este proyecto será necesario tener en cuenta la presión hidráulica en cada uno de los sistemas antes mencionados y la pérdida de presión que cada uno de los sistemas y elementos producen en el agua.

En este proyecto se utilizará como referencia de cálculo la línea piezométrica, que tiene como base el siguiente desarrollo:

Línea piezométrica

En primer lugar se define la ecuación de Bernouilli:

Se trata de la conservación de la energía, es decir, la energía que puede tener un fluido puede ser energía potencial, energía de presión o energía cinética, estas energías vienen definidas por las siguientes expresiones:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{\text{presión}} = F \cdot L = P \cdot S \cdot L = \frac{m}{\rho} \cdot P = \frac{m \cdot g}{\gamma} \cdot P$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Siendo $\gamma = \rho \cdot g$

El incremento de energía de un fluido entre dos secciones inicial y final de un conducto debe ser nulo. De esta forma se puede obtener la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_i^2 - v_f^2) + m \cdot g \cdot (z_i - z_f) + \frac{m \cdot g}{\gamma} (P_i - P_f) = 0$$

De esta forma dividiendo entre $m \cdot g$ se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{v_i^2 - v_f^2}{2 \cdot g} + h_i - h_f + \frac{P_i - P_f}{\gamma} = 0$$

Por tanto despejando los estados inicial y final a cada lado de la ecuación resulta:

$$\frac{v_i^2}{2 \cdot g} + h_i + \frac{P_i}{\gamma} = \frac{v_f^2}{2 \cdot g} + h_f + \frac{P_f}{\gamma} = \text{Constante}$$

Que se trata de la ecuación de Bernoulli.

En esta ecuación aparece en cada sumando cada uno de los tipos de energía. Como la suma que se obtiene es constante cuando uno de los valores aumenta, los otros dos disminuyen.

Para definir la cota piezométrica se tendrá en cuenta un líquido en reposo, de esta forma el valor del primer término de la ecuación se anulará, obteniendo la siguiente ecuación:

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \text{Constante}$$

El valor de esa constante es la que llamaremos cota piezométrica (H).

Por tanto en el diagrama piezométrico se reflejará el valor de H, o cota piezométrica, expresada en milímetros, en cada uno de los puntos que se consideren importantes a lo largo del recorrido del agua, y que se considerarán con velocidad nula.

Para obtener el diagrama piezométrico de un sistema se debe tener en cuenta las pérdidas de carga en cada uno de los componentes por los que pasa el agua.

Concepto de pérdida de carga.

La ecuación de Bernouilli solo es real para líquidos no viscosos o para dos puntos muy próximos, ya que en la realidad las expresiones no son del todo exactas.

Esto es debido a que en toda transformación energética existe una degradación, es decir, los rozamientos convierten en calor parte de la energía transformada, por lo que el valor de la cota piezométrica no es constante.

Por tanto, cada componente por el que pasa el agua provoca en éste cierta pérdida de energía que se traduce en pérdida de presión.

Dentro de los componentes que nos podemos encontrar en este proyecto podemos diferenciar dos tipos en función de la pérdida de presión, aquellos en los que la pérdida de presión dependerá linealmente de la longitud de este componente, dentro de los cuales se encuentran los conductos y se denominarán pérdidas de presión primarias, y aquellos que dependerán de forma particular de su geometría, como válvulas, contracciones, codos..., que se denominarán pérdidas de presión secundarias.

Mención especial tendrá en este proyecto los elementos que aportan energía al fluido provocando en éste un aumento de presión y de caudal. Estos elementos se analizarán en el apartado "grupos de presión".

Para un cálculo preciso de las pérdidas de presión primarias se tendrá en cuenta la hipótesis de movimiento turbulento. Esta hipótesis implica que se cumple la siguiente ecuación

$$Re \frac{D}{L} \gg 1$$

Siendo Re el número de Reynolds, D el diámetro y L la longitud del conducto.

Por tanto la pérdida de carga se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot L \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Siendo ΔP la pérdida de carga en el conducto, U la velocidad del agua en el conducto, L la longitud total del conducto, D el diámetro del conducto y λ el coeficiente de fricción de Darcy.

Este coeficiente se puede estimar con distintas teorías, dependiendo de la rugosidad del conducto, del diámetro del conducto y del número de Reynolds. Para el cálculo de dimensionamiento de nuestro proyecto elegiremos la teoría más restrictiva, es decir, la que obtenga mayor pérdida de carga.

Para evaluar este tipo de pérdidas de presión secundarias se tomará el parámetro K , llamado coeficiente de pérdidas, y que dependerá del número de Reynolds y de la geometría del componente, de esta forma la pérdida de carga se calculará con la siguiente fórmula:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot K$$

Por último también se tendrá en cuenta la pérdida de carga de los sistemas de potabilización. Estos cálculos vendrán dados en los apartados correspondientes.

Grupos de presión

Una bomba hidráulica es un dispositivo que transforma energía mecánica o eléctrica en una energía de presión transmisible de un lugar a otro de un sistema hidráulico a través de un líquido cuyas moléculas están sometidas a dicha presión.

El propósito de una bomba hidráulica es suministrar el flujo hidráulico necesario. La presión se crea solamente con la resistencia del flujo. Mientras que la bomba proporciona flujo, transmite la fuerza al líquido. Dado que el flujo encuentra resistencia, esta fuerza se vuelve una presión. Esta restricción es normalmente el trabajo logrado por el sistema hidráulico, y el debido a restricciones de líneas y de válvulas dentro del sistema.

La presión es impuesta, por tanto, por la carga impuesta sobre el sistema o la acción de un dispositivo regulador de presión.

Una bomba debe tener una fuente continua de líquido disponible en el puerto de entrada para suministrar el líquido al sistema.

Dado que la bomba fuerza el líquido a través del puerto de salida, en el puerto de entrada se crea un área de baja presión.

El proceso de transformación de energía se transforma en dos etapas:

- Al comunicarse energía mecánica a la bomba, ésta comienza a girar y con esto se genera una disminución de la presión en la entrada de la bomba, como el depósito se encuentra sometido a presión atmosférica, se genera entonces una diferencia de presiones lo que provoca la succión y con ello el impulso del líquido hacia la entrada de la bomba.

- Al entrar el líquido, la bomba lo toma y lo traslada hasta la salida y se asegura, por la forma constructiva que el fluido no retroceda.

Los tipos de bombas que se van a utilizar en el proyecto serán centrífugas y de caudal constante.

Sistema de control neumático

Los procesos que se instalarán pueden ser controlados de distintas maneras: manualmente, eléctricamente y mediante un sistema de control neumático.

A continuación se desarrolla los elementos necesarios para un sistema de control neumático.

- Filtrado, tiene como misión extraer del aire comprimido todas las impurezas y el agua condensada.

Para entrar en el filtro el aire comprimido tiene que atravesar la chapa deflectora provista de ranuras directrices. Como consecuencia se somete a

un movimiento de rotación. Los componentes líquidos y las partículas grandes de suciedad se desprenden por el efecto de la fuerza centrífuga y se acumulan en la parte inferior del recipiente.

En el filtro fino elimina casi con totalidad las partículas de agua y aceite. El aire comprimido se filtra hasta un 99,999%.

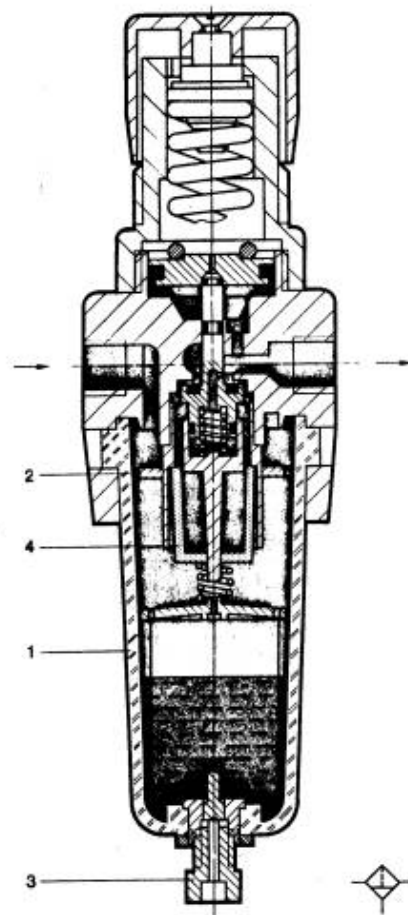
Este filtro se diferencia del filtro normal en el hecho de que el aire comprimido atraviesa el elemento filtrante desde dentro hacia fuera. El aire comprimido limpio pasa por la salida a los consumidores.

La separación de partículas finísimas es posible debido a la finura extraordinaria del tejido filtrante. Las partículas separadas se eliminan del recipiente del filtro por el tornillo de purga.

Para que las partículas de agua y aceite no puedan ser arrastradas por el aire que circula, deben observarse los valores de flujo. Al montarlo hay que tener en cuenta que un prefiltrado aumenta la duración del cartucho filtrante, el filtro ha de montarse en posición vertical, prestando atención al sentido de flujo.

El sistema neumático podrá contar con prefiltros, filtros de partículas y postfiltros de carbón.

Figura 2.1 Filtro fino de aire comprimido



- Regulador de presión, su misión es la de mantener la presión de trabajo lo más constante posible, independientemente de las variaciones que sufra la presión de red y del consumo de aire. La presión es regulada por una membrana que es sometida por un lado a la presión de trabajo y por el otro a la fuerza de un resorte, ajustable por medio de un tornillo.

A medida que la presión de trabajo aumenta, la membrana actúa contra la fuerza del muelle. La sección de paso en el asiento de la válvula disminuye

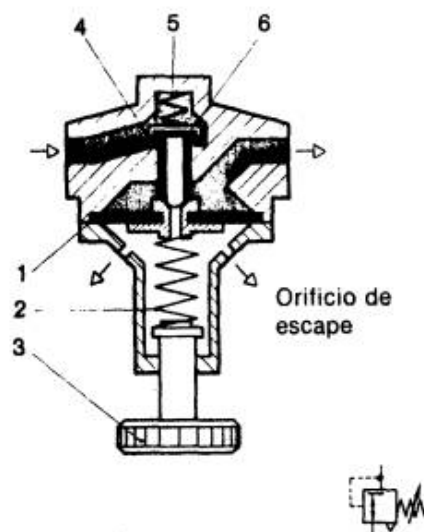
hasta que la válvula cierra el paso por completo. En otros términos, la presión es regulada por el caudal que circula.

Al tomar aire, la presión de trabajo disminuye y el muelle abre la válvula. La regulación de la presión de salida ajustada consiste en la apertura y cierre constantes de la válvula.

Al objeto de evitar oscilaciones, encima del platillo de válvula hay dispuesto un amortiguador neumático o de muelle. La presión de trabajo se visualiza en un manómetro.

Cuando la presión secundaria aumenta demasiado, la membrana es empujada por el muelle. Entonces se abre el orificio de escape de la parte central de la membrana y el aire puede salir a la atmósfera por los orificios de escape existentes en la caja.

Figura 2.2 Regulador de presión



- Válvulas. A través de las válvulas neumáticas se dirigirá el flujo del aire para el control del proceso.

- Secadores. Es importante en el aire comprimido tener en cuenta la humedad de éste. La cantidad de humedad depende en primer lugar de la humedad relativa del aire, que a su vez depende de la temperatura del aire y de las condiciones climatológicas.

La humedad absoluta es la cantidad de agua contenida en un m³ de aire. El grado de saturación es la cantidad de agua que un m³ de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada. La humedad es entonces del 100%.

$$\text{Humedad relativa} = \text{Humedad absoluta} / \text{grado de saturación}$$

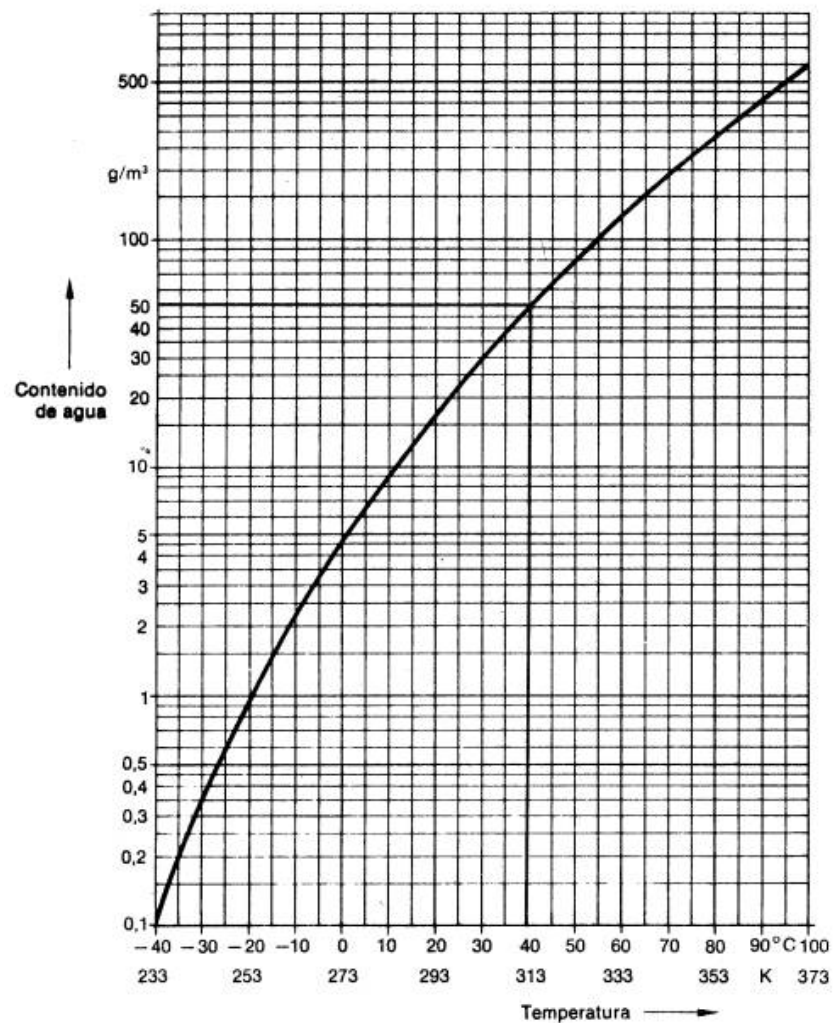
El siguiente diagrama muestra la saturación del aire en función de la temperatura.

Existen varios métodos de secado de aire: por adsorción, por absorción y por enfriamiento. El utilizado en este proyecto es el método por absorción, que consiste en hacer pasar el aire por un lecho de sustancias secantes. En cuanto el vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combina químicamente con ésta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante.

Esta mezcla tiene que ser eliminada regularmente por el absorbedor.

Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares.

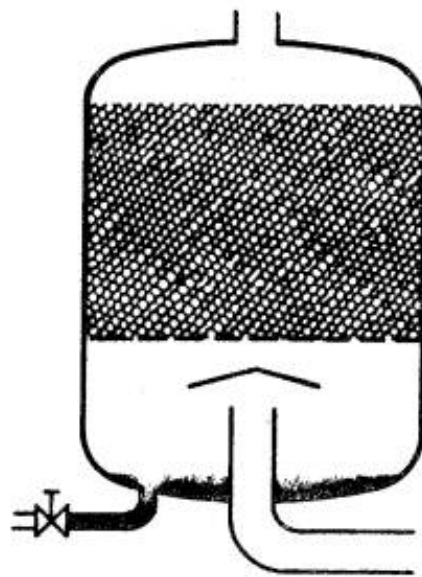
Figura 2.3 Característica del punto de rocío



Al mismo tiempo, en el absorbedor se separan vapores y partículas de aceite. No obstante, las cantidades de aceite si son grandes, influyen en el funcionamiento. Por esto conviene montar un filtro delante de este.

El procedimiento de absorción tiene la ventaja de tener una instalación simple, reducido desgaste mecánico porque el secador no tiene piezas móviles y no necesita aportación de energía exterior.

Figura 2.4 Secador de absorción



2.2 Propiedades de las aguas subterráneas

Aunque existe gran diversidad de datos, se puede decir que España tiene una pluviosidad media anual del orden de 650mm, lo que indica que la lluvia caída en nuestro territorio es del orden de 325.000 hm³/año. De este agua, aproximadamente el 66,2% se evapora, con lo cual solo el 33,8% se convierte en escorrentía.

De estas cifras se acepta que del orden de 20.000 hm³/año se infiltran recargando los acuíferos y convirtiéndose en escorrentía subterránea.

Además, de toda el agua consumida en España, el 80% se utiliza en agricultura y el 20% restante cubre la demanda urbana e industrial.

En cuanto al origen del agua utilizada, también los datos aportados coinciden en que el 18% es de origen subterráneo. Esta agua subterránea se usa mayoritariamente en agricultura (73%), destinándose solo un 25% a cubrir abastecimientos urbanos e industriales.

Conceptos

En el subsuelo se encuentran formaciones geológicas consistentes a veces en rocas porosas o fracturadas que pueden contener agua en sus huecos. Éste agua se denomina subterránea y los terrenos que la contienen y la pueden ceder se denominan acuíferos.

Los terrenos acuíferos del subsuelo pueden tener una extensión horizontal pequeña constituyendo los acuíferos locales o puntuales o bien alcanzar millones de kilómetros cuadrados, formando extensos acuíferos regionales. Asimismo, el espesor de los acuíferos puede también variar desde centímetros hasta más de mil metros.

El agua subterránea tiene su origen en la lluvia, parte de la cual se infiltra directamente a través del suelo, o desde ríos y lagos, por grietas y poros de la roca hasta alcanzar un nivel impermeable que no le deja descender más. El agua se va acumulando con el paso de los años llenando, de esta forma, los acuíferos. Estas aguas subterráneas van circulando a favor de gradiente hasta alcanzar puntos de salida a la superficie que se convierten en manantiales o fuentes o en áreas difusas como los lechos de los ríos, cuyo caudal es mantenido por las aguas subterráneas.

Acuíferos

Un acuífero es un conjunto de rocas que contienen y pueden proporcionar agua bajo ciertas condiciones.

La porosidad es la propiedad de las rocas que hace que puedan contener agua. Para que una roca sea acuífera, además de almacenar agua debe ser capaz de cederla. Esta propiedad se conoce como permeabilidad. Permeabilidad y porosidad son las características hidráulicas que definen un acuífero.

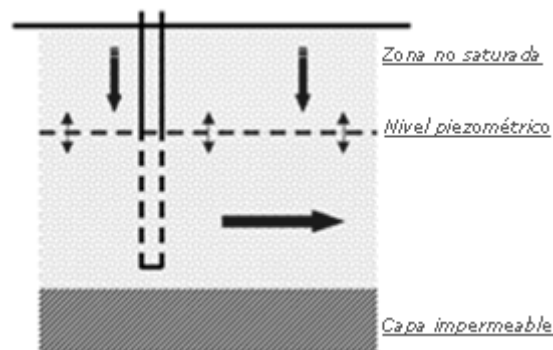
La recarga de acuíferos se produce por infiltración del agua de lluvia que cae sobre ellos, de los ríos o los lagos que los atraviesan o limitan, o del excedente de agua de los cultivos asentados sobre ellos.

Clasificación de los acuíferos

Según la estructura geológica de los materiales que conforman los acuíferos y las condiciones hidráulicas del agua que contienen pueden ser:

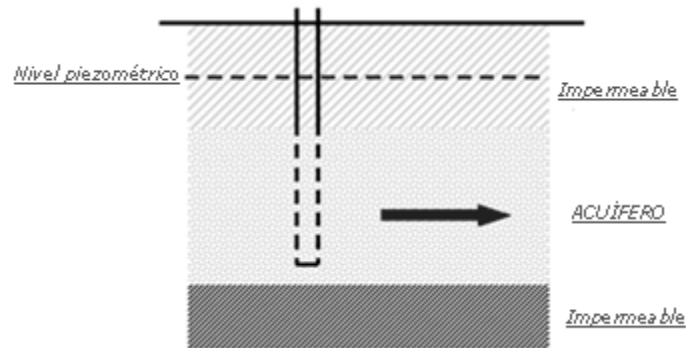
- Acuíferos libres: En estos acuíferos existe una zona impermeable que sirve de base a una zona permeable saturada de agua. Más arriba, existe una franja permeable.

Figura 2.5 Acuíferos libres



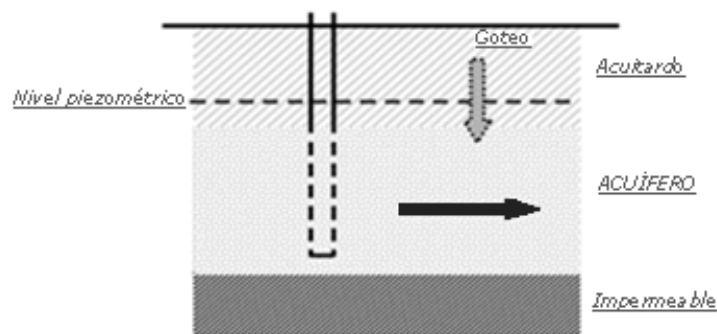
- Acuíferos confinados: En este caso, la roca permeable queda confinada por encima y por debajo en terrenos impermeables. Todo el espesor del acuífero está saturado de agua y la presión de agua en los poros o fisuras es mayor que la atmosférica.

Figura 2.6 acuíferos confinados



- **Acuíferos semiconfinados:** En los acuíferos semiconfinados, una de las rocas encajantes no es totalmente impermeable y permite cierta transmisión de agua través de ella.

Figura 2.7 Acuíferos semiconfinados



Según sus características litológicas los acuíferos se clasifican en:

- **Detríticos:** Se localizan en materiales geológicos cuyo origen está en relación con los procesos de erosión, arrastre y sedimentación.

Poseen permeabilidad primaria por porosidad intergranular, que es función de factores como tamaño y homogeneidad del grano, grado de compactación, presencia o ausencia de cementación, etc.

En estos materiales la permeabilidad puede verse muy disminuida como consecuencia de la componente arcillosa, pero aún así, su interés como formación almacén puede ser muy importante.

- Acuíferos en materiales volcánicos: Se trata de formaciones en las que el carácter predominante es el de su elevada permeabilidad.

- Acuíferos en rocas ígneas y metamórficas: Se trata de materiales cuya permeabilidad primaria es muy reducida. Sin embargo, este carácter de acuífugos se ve modificado frecuentemente por la presencia de discontinuidades que aportan a las rocas una permeabilidad secundaria nada despreciable, y que da lugar a acuíferos heterogéneos, de pequeñas reservas y recursos, pero que pueden resolver problemas de abastecimiento de pequeños núcleos urbanos.

- Acuíferos kársticos: Desarrollados fundamentalmente sobre rocas carbonatadas, aunque también pueden albergarlos formaciones evaporíticas.

El papel de los acuíferos en la regulación de los recursos hidráulicos

Las aguas superficiales y subterráneas pueden realizar funciones complementarias en un sistema de recursos hidráulicos.

Los acuíferos pueden representar alternativas interesantes para el almacenamiento de agua y ahorros económicos sustanciales en cuanto a los sistemas de distribución de superficie. La función de un acuífero como elemento de distribución de agua está asociada estrechamente a su papel como elemento de almacenamiento.

Utilización alternativa

La capacidad de almacenamiento de un acuífero puede aprovecharse si se hace más uso de los embalses o de los caudales de los ríos en los períodos húmedos, y por el contrario se extrae más de los acuíferos en períodos secos.

Aprovechamiento del almacenamiento subterráneo mediante la recarga artificial

Entendemos por recarga artificial un conjunto de técnicas que permiten, mediante intervención programada e introducción directa o inducida de agua en un acuífero, incrementar el grado de garantía y disponibilidad de los recursos hídricos, así como actuar sobre su calidad.

Este método pretende contribuir, siempre que sea técnica y económicamente posible, a una gestión más racional del potencial hídrico que presenta una determinada cuenca hidrográfica o sistema de explotación.

Los objetivos que persigue son dos:

- Aumento y optimización del volumen de los recursos hídricos
- Prevención o corrección del deterioro de la calidad del agua

Entre las aplicaciones más habituales de recarga artificial de acuíferos están el almacenamiento de escorrentías superficiales no reguladas, reducción del descenso piezométrico, mantenimiento hídrico de determinados enclaves ecológicos, etc.

Sistemas río-acuífero

El retardo que se produce entre los bombeos en un acuífero, y la disminución de caudal en el río drenante, puede aprovecharse para aumentar las disponibilidades de agua. Al bombear de forma intermitente en períodos secos en los que la demanda de agua es mayor y menor el caudal de los ríos, una parte del efecto del bombeo se produce en los períodos en los que es mayor el caudal de los ríos

Las relaciones río-acuífero pueden transformarse por la explotación de las aguas subterráneas. Así, ciertos acuíferos muy explotados, al disminuir los niveles piezométricos, pueden cambiar su relación con el río que puede pasar de ganador a perdedor. De esta manera, las posibilidades de almacenamiento en los acuíferos aumentan.

La alteración del eventual equilibrio químico establecido entre el agua subterránea y el terreno por el que circula, reflejada en la aparición de sustancias o compuestos extraños a los que configuran la calidad natural, sirve como indicador de la actividad humana.

Cuando esa alteración constituye un impacto negativo en el ecosistema hídrico o afecta al potencial del recurso para su utilización posterior, se puede hablar de contaminación.

La Ley de Aguas establece en su artículo 93 como definición de contaminación, "la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica". El concepto de contaminación queda referido, por tanto, al uso posterior del agua o a su función ecológica. A diferencia de lo que ocurre en las aguas superficiales, la detección de la contaminación y la evaluación de sus efectos presentan mayores dificultades en el caso de las aguas subterráneas.

En las aguas subterráneas, la degradación de la calidad se advierte con frecuencia cuando el proceso contaminante ha afectado a amplias zonas del acuífero.

La adopción de medidas correctoras, costosas y no siempre efectivas, se ve complicada por la complejidad de la evolución del contaminante en el terreno y la consiguiente dificultad para establecer un diagnóstico de las relaciones causa-efecto en dicho proceso.

No obstante, en las aguas subterráneas el poder depurador del terreno, en especial en acuíferos detríticos con porosidad intergranular y elevado contenido en minerales de arcilla o materia orgánica en la zona no saturada, puede atenuar o reducir a niveles aceptables el deterioro de la calidad. Este hecho constituye un factor positivo de protección natural no regulada del Dominio Público hidráulico y está íntimamente ligado al concepto de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad y riesgo

La vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación expresa la sensibilidad de las aguas subterráneas a una alteración de la calidad originada por actividades humanas.

Esta vulnerabilidad es función de una serie de características intrínsecas del acuífero, referidas a la parte del terreno situada sobre la superficie

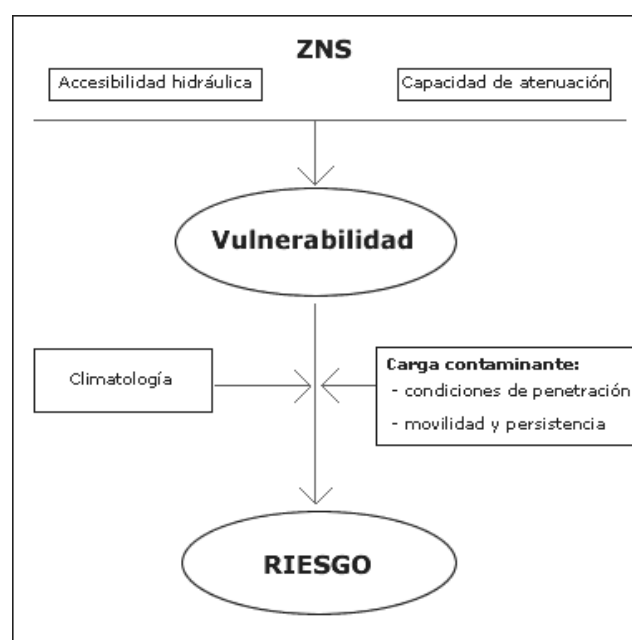
piezométrica. Estas características incluyen aspectos mineralógicos, nivel de consolidación y figuración y grado de desarrollo del suelo vegetal.

Según esta definición, la vulnerabilidad dependerá de (Foster, 1991):

- La inaccesibilidad hidráulica de la zona no saturada a la penetración de contaminantes.
- La capacidad de atenuación de dicha zona como resultado de la retención físico-química o de la reacción de los contaminantes con el terreno.

La zona no saturada puede constituir así una poderosa línea de defensa natural contra la contaminación en acuíferos libres.

Figura 2.8 Esquema de vulnerabilidad y riesgo



Además, el grado de afección de las aguas subterráneas como consecuencia de un episodio contaminante está también condicionado por factores externos, unos de origen climatológico-pluviométrico y temperatura, y otros relativos a la carga contaminante (procedimiento y lugar de penetración del contaminante y movilidad y persistencia del contaminante).

La combinación de los factores indicados anteriormente determina el potencial de riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas, siempre referido a una zona determinada.

Los mecanismos de incorporación del contaminante al acuífero son de varios tipos:

- infiltración a través de la zona no saturada en áreas de recarga
- Pérdidas en ríos o masas de agua superficial conectadas con el acuífero
- Inyección en sondeos y pozos
- Intrusión en zonas próximas a aguas salinas

Asimismo, los procesos que determinan el alcance y evaluación de la contaminación de las aguas subterráneas pueden resumirse en (Custodio y Llamas, 1976):

- Filtración mecánica de las partículas y bacterias en suspensión, acentuada en acuíferos con porosidad intergranular y poros de pequeño tamaño y uniformemente distribuidos
- Oxidación-reducción, en particular de compuestos nitrogenados y metales pesados durante su paso por la zona no saturada, en la que es más intensa la actividad de microorganismos
- Adsorción y absorción, que incrementan el período de permanencia del contaminante en el terreno y, por consiguiente, la posibilidad de una depuración mayor, favorecida por el intercambio iónico y la acción bacteriana
- Dilución, por mezcla de agua contaminada con agua de mejor calidad. La capacidad de almacenamiento del acuífero condiciona en este caso el alcance del proceso
- Acción bioquímica, particularmente intensa en la zona no saturada

La tipología de sustancias contaminantes puede ser muy diversa abarcando desde iones inorgánicos simples a sustancias sintéticas orgánicas de composición compleja.

Podemos distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los puntuales que afectan a zonas muy concretas y los

difusos que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar el foco principal.

Algunas de las actividades que suelen provocar contaminación puntual son los lixiviados de vertederos de residuos urbanos, industriales, pozos sépticos, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, etc.

Este tipo de contaminación es más intensa cerca del lugar donde se produce y van disminuyendo a medida que nos alejamos de ella. Asimismo, la dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo influye de manera importante para determinar en qué lugares los pozos tendrán aguas contaminadas y en cuales no.

La contaminación difusa puede estar causada por el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes en la agricultura o la explotación excesiva de los acuíferos que facilita la intrusión marina por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas.

Este tipo de contaminación es especialmente preocupante ya que suele alargarse en el tiempo y afecta a zonas muy extensas.

Actividades contaminantes

Las principales actividades humanas, causantes de contaminación de aguas subterráneas, pueden englobarse en los siguientes grupos:

- Residuos sólidos urbanos: los lixiviados procedentes de los propios residuos depositados en superficie, al alcanzar la superficie freática, arrastran todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- Aguas residuales: Las aguas residuales de los núcleos urbanos se vierten a cauces superficiales o en fosas sépticas. En ocasiones, tras una ligera depuración de las aguas residuales urbanas, se distribuyen en superficie aprovechando el poder filtrante del suelo. Los lodos resultantes de la depuración pueden representar, después de una segunda fase, el mismo problema. Este agua residual puede aportar distintos tipos de contaminantes como detergentes, nitratos, bacterias, virus, etc.
- Actividades agrícolas: La contaminación de aguas subterráneas por este tipo de actividades es muy difícil de controlar ya que producen contaminación difusa que afecta a grandes extensiones. Así, los fertilizantes aportan compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio. En ocasiones se ha detectado que hasta el 50% de los nitratos pueden llegar al acuífero por infiltración. Por su parte, los plaguicidas aportan fungicidas, insecticidas, bactericidas, etc., estimándose una persistencia de estos productos de entre una semana y varios años. Asimismo, es posible que los metabolitos procedentes de la degradación de estos productos sean más tóxicos y persistentes que los productos originales.

- Ganadería: De los residuos de los animales proceden diversos compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros, y, en algunos casos, metales pesados. Este tipo de contaminación no suele ser muy importante a no ser que se trate de grandes explotaciones.
- Actividades industriales y mineras: En este caso las vías de contaminación y las sustancias contaminantes son muy variadas. Las labores de tratamiento de los minerales o la infiltración del agua de lluvia en las escombreras, en el caso de las minas, o los vertidos procedentes de la industria son causantes de la contaminación de las aguas subterráneas.
- Actividades nucleares: En el caso de los reactores nucleares u otras industrias que empleen combustible nuclear se generan residuos de baja actividad y combustible usado (residuos de alta actividad) es necesario prestar especial cuidado a la hora de su almacenamiento debiendo buscarse lugares donde no exista un flujo de agua subterránea.

2.3 Calidad del agua

Las propiedades del agua más representativas que tendremos en cuenta para su potabilización serán las siguientes:

- El pH, es una medida de la concentración de iones de hidrógeno. Se define como el logaritmo del inverso de la concentración de iones H^+ :

$$pH = \log\left(\frac{1}{H^+}\right)$$

Cuando el valor de pH es menor de 7 se dice que el medio es ácido, y para valores de pH mayores de 7 se tiene un medio básico.

El pH del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5; y para que el agua pueda ser tratada.

- DBO. Se trata de la cantidad de oxígeno usado por la actividad respiratoria de los microorganismos que utiliza la materia orgánica del agua residual para crecer y metabolizar a partir de ella y de otros microorganismos sus componentes celulares.
- DQO. Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la totalidad de la materia oxidable, tanto Orgánica como Mineral. Se mide en ppm o mg/l. Guarda cierta relación con la DBO, siendo esta última una fracción de la primera que oscila entre el 2 y el 70 %.

- Sólidos en suspensión, es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide en partes por millón (ppm). La cantidad de sólidos en suspensión máxima para que el agua se pueda considerar potable es de 500 ppm.
- Dureza del agua. Los elementos que producen dureza en el agua son las sales compuestas por calcio y magnesio. La medida de la dureza se expresa en miligramos equivalentes de carbonato de calcio por litro. El valor mínimo necesario para que el agua se considere potable es de 100 mg/l CaCO_3
- Contaminación de nitrógeno, en nuestro caso mayormente en forma de nitritos, dado que son el resultado de la ganadería. Su valor máximo admisible será de 0,5 ppm.
- Contaminación de fósforo, en forma de fosfatos. La cantidad admisible de estos será de 0,2 ppm.

Las propiedades del agua a la entrada de la instalación serán las siguientes:

Tabla 2.1 Propiedades del agua a la entrada

Sólidos en suspensión	DBO	Dureza	Nitrógeno	Fósforo
400 ppm	30	45 mg/l	2,5 ppm	0,8 ppm

Estos valores se tratarán de reducir en la instalación para conseguir obtener las características de agua potable.

Para conseguir la calidad necesaria los valores objetivo a la salida del agua será la siguiente:

Tabla 2.2 Propiedades del agua a la salida

Sólidos en suspensión	DBO	Dureza	Nitrógeno	Fósforo
12 ppm	0,45	35 mg/l	0,5 ppm	0,16 ppm

Estos valores objetivos son menores o iguales a los exigidos por la norma.

2.4 Fundamentos de la desinfección

El agua es uno de los principales transmisores de microorganismos causantes de enfermedades, principalmente bacterias, virus y protozoos intestinales. Las grandes epidemias de la humanidad han prosperado por la contaminación del agua. Por referencias se conoce que se recomendaba hervir el agua desde quinientos años antes de nuestra era. La cloración y filtración es considerado el más importante progreso de salud pública del milenio.

En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades. En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo.

La desinfección es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso requiere procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración.

Para diferenciar claramente los conceptos referidos a la destrucción de organismos patógenos del agua, es necesario distinguir los siguientes términos:

- Agente esterilizante: es aquel capaz de destruir completamente todos los organismos (patógenos o no).

- Desinfectante: es el agente que inactiva los gérmenes patógenos.

- Bactericida: agente capaz de inactivar las bacterias.

- Cisticida: agente que tiene la capacidad de inactivar los quistes.

El uso de la desinfección como parte de un proceso de tratamiento del agua puede obedecer a los siguientes objetivos:

- Reducir el contenido inicial de contaminantes microbiológicos en el agua cruda (predesinfección). Este proceso se utiliza solo en casos especiales.

- Desinfectar el agua luego de la filtración. Constituye el uso más importante.

- Desinfección simple de un agua libre de contaminantes fisicoquímicos que no requiere otro tratamiento.

Para que la desinfección sea efectiva, las aguas sujetas al tratamiento deben encontrarse libres de partículas coloidales causantes de turbiedad y color, las cuales pueden convertirse en obstáculos para la acción del agente desinfectante.

La desinfección alcanza una eficiencia máxima cuando el agua tiene una turbiedad cercana a la unidad. Por ello es indispensable desplegar los esfuerzos necesarios para que los procesos de tratamiento previos sean efectivos y eficientes.

Teóricamente, la acción desinfectante de las sustancias químicas se realiza en dos etapas:

- La penetración de la pared celular.

- La reacción con las enzimas, inhibiendo el metabolismo de la glucosa y, por tanto, provocando la muerte del organismo.

3. Dimensionado de instalaciones principales

A continuación se muestra el diseño esquemático de la planta y posteriormente cada unidad de tratamiento desarrollado por separado:

1. Sistema de Elevación
2. Tamizado
3. Desarenado y Desengrasado
4. Filtrado de Arena
5. Cloración
6. Filtros de Carbón Activo
7. Cámara de Mezcla

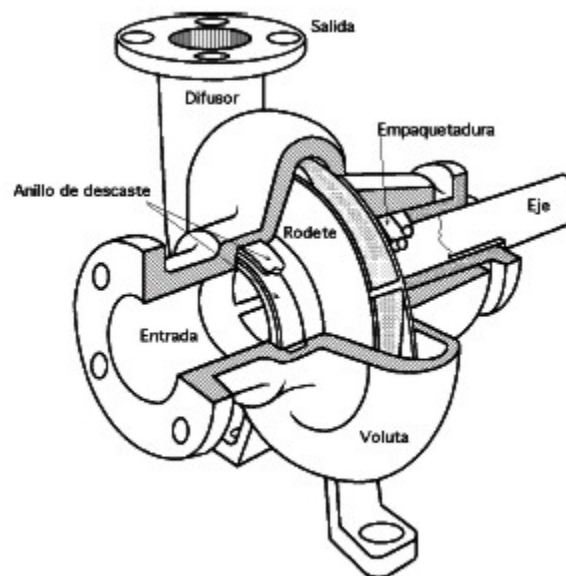
3.1 Dimensionado del sistema de elevación

FUNCIONAMIENTO

Consiste en una serie de bombas centrífugas de elevación de agua desde el acuífero donde éste se encuentra hasta la superficie.

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas.

Figura 3.1 Dibujo esquemático de una bomba centrífuga



El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el

exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia la tubería de salida.

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido. Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad.

Por tanto, la energía de la bomba se debe expresar en metro y es por ello por lo que se denomina genéricamente como "altura".

DISEÑO DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN

El sistema de elevación está dimensionado para que la energía que aporten éste al agua sea suficiente para elevar el agua hacia la superficie y superar las pérdidas producidas por los siguientes sistemas de tratamiento del agua previos a los filtros de carbón activo.

Se requieren para la elevación de 6 m de altura con un caudal total de 1 m³/s.

Estarán sobredimensionadas para evitar posibles incidentes, y evitar que éstas se encuentren en algún momento en el límite de su capacidad. Por tanto tendremos 3 bombas (2+1) de 0.5 m³/s de caudal unitario.

La potencia unitaria de estas bombas se obtendrá de la siguiente expresión:

$$P = Q \times H$$

Siendo Q el caudal unitario de las bombas y H la altura de elevación del agua.

De esta manera la potencia unitaria de las bombas será:

$$P = 0.5m^3 / s \times 6m \times 1000kg / m^3 \times 9.8m / s^2 = 29.4kW$$

Potencia a la que se le aplicará un coeficiente de seguridad de 1,25.

Obteniendo así un valor de:

$$P_R = c \cdot P = 36.75kW$$

Las características de las bombas se analizan en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Diseño del sistema de elevación

Sistema de elevación	
Número de equipos de bombeo	2+1
Caudal (m ³ /s)	0,5
Altura (m.c.a.)	6
Potencia (kW)	36.75

3.2 Tamizado

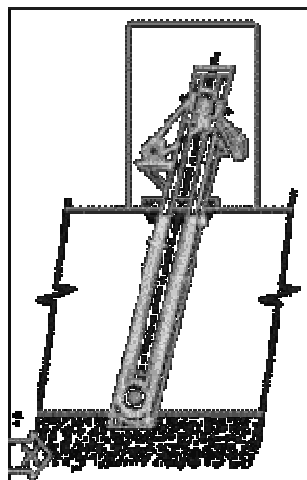
FUNCIONAMIENTO

El tamizado consiste en interponer un medio natural discontinuo en la dirección del agua a tratar.

El tamaño característico de la discontinuidad se denomina luz, y nos indica el tamaño máximo de las partículas que podrán atravesar el sistema.

Sirve para retener objetos de gran tamaño que son de difícil tratamiento en las demás unidades de depuración y que pueden dar problemas de obstrucción de canalizaciones, sistemas de bombeo...

El tamiz estará constituido por una malla tejida con una luz inferior a 1,5 cm y retendrá objetos de tamaño medio como arenas gruesas, gomas...



DISEÑO

Debido a que la concentración de materiales gruesos provenientes del agua será pequeña, el sistema de tamizado elegido será el tamizado estático que consiste en una serie de tamices situados con una inclinación mayor de 70° con respecto a la horizontal.

La entrada de agua se efectuará por la zona superior, mientras que por la zona inferior de la cara opuesta del tamiz saldrá el agua.

De esta forma la dirección del agua con esta inclinación favorecerá el arrastre de sólidos retenidos en el tamiz y su eliminación por la zona inferior del mismo.

Los parámetros importantes para diseñar el sistema de tamizado son el número de líneas de tamices y el área del tamiz.

Para la elección óptima de estos parámetros se buscará el valor que minimice la pérdida de carga total y el precio de la instalación y mantenimiento del sistema.

En primer lugar, un valor aproximado de la pérdida de carga se obtiene de la siguiente fórmula:

$$h = \frac{1}{C(2 \cdot g)} \cdot \left(\frac{Q_u}{n \cdot A} \right)^2$$

Siendo A el área del tamiz, Q el caudal de la línea de agua, n el número de líneas, C el coeficiente de descarga del tamiz y g el valor de la gravedad.

Por otra parte, el valor del precio de la instalación y mantenimiento del sistema será mayor cuanto mayor sea el número de líneas y el área del tamiz utilizado.

Por esto para obtener un valor de compromiso entre el precio y la pérdida de carga se elegirá 4 líneas de tamizado con 2 m² cada tamiz.

La pérdida de carga aproximada por línea del sistema será de 1,3 mm.

La luz que tendrá el tamiz será de 0,3 cm, por lo tanto el tamiz eliminará sustancias de más de 0,3 cm de grosor.

El sistema estará precedido por un bypass que distribuirá el agua en 4 conductos de la línea principal.

Esta división será aprovechada para el sistema posterior que tratará del desarenado-desengrasado.

De esta manera se eliminarán gastos de la instalación, pero se perderá la posibilidad de mantener aislado cada sistema, debido a que si una de las líneas de tamizado falla, deberá detenerse también el sistema de desarenado-desengrasado de esta línea.

Sin embargo la posibilidad de fallo de alguno de los sistemas de la línea deberá producir una reducción de caudal y por tanto se producirá necesariamente la parada de su correspondiente proceso posterior.

Por último las arenas retenidas en el tamiz caerán por gravedad hacia el inferior donde existirá un canal por el que saldrán las arenas.

Para la instalación del proceso de tamizado será necesario un bypass inicial del conducto principal que dividirá éste en 4 conductos. Cada uno de estos conductos requiere de una válvula tipo mariposa y otra tipo antirretorno.

El sistema de tamizado llevará instalado el tamiz correspondiente de $1,5 \times 1,3 \text{ m}^2$ de área y con una luz de 0,3 cm.

En la posición inferior del sistema de tamizado se incluye el canal de recogida de arenas que conectará con los 4 tamices.

Los valores característicos del tamizado que se ha diseñado aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Diseño de tamizado

Tamizado	
Caudal (m ³ /s)	1
Número de líneas	4
Caudal unitario (m ³ /s)	0,25
Inclinación (°)	70
Área (mxm)	1,95x1,3
Luz (cm)	0,3
Pérdida de carga (mm)	1,3

3.3 Desarenado y desengrasado

FUNCIONAMIENTO

En este proceso se realizará una separación entre el agua y las grasas y arenas contenidas en este.

La finalidad de la eliminación de grasas es evitar obstrucciones en los siguientes procesos de filtración y oxidación.

Por otra parte, las razones por las que se eliminan las arenas son las siguientes:

- Evitar que se produzcan sedimentos en las conducciones
- Proteger contra la abrasión los equipos de impulsión y otras instalaciones de la planta
- Evitar sobrecargas en las fases siguientes del tratamiento

La separación de grasas y aceites se efectúa mediante un proceso de flotación donde las partículas de grasa de diámetro en torno a 150 μm ascienden con una velocidad comprendida entre 1 y 4 mm/s.

Estas grasas y aceites serán retiradas del agua en su superficie mediante un sistema de rasquetas accionadas automáticamente.

Por otra parte, la eliminación de las partículas con densidad mayor a la del agua se realizará mediante el desarenado.

Con el desarenado se consigue la eliminación de sólidos de dimensiones superiores a 0,25 mm de diámetro y densidad de 2,7 kg/l.

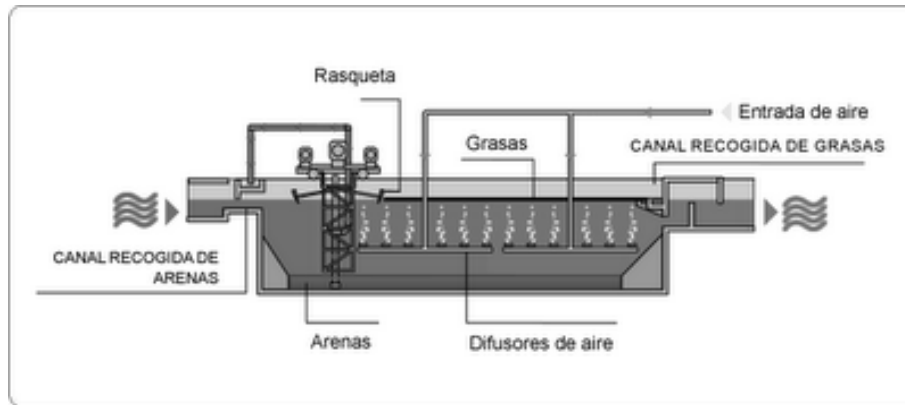
La velocidad de caída de una partícula en el agua es proporcional a la altura del desarenado e inversamente proporcional al tiempo de retención hidráulica. Por tanto, la eficiencia de un desarenado medida como función del tamaño mínimo de la partícula que va a separar es proporcional al caudal de agua a tratar e inversamente proporcional a la superficie de la lámina de agua de dicho desarenado y viene dada en $\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$.

Para la eliminación conjunta de arenas y grasas del agua potable será necesario igualar las velocidades de flotabilidad de las grasas con la de sedimentación de las arenas.

La manera de igualar las velocidades será implementando el sistema para que actúe como un sistema de flotación asistido por aire, acelerando el proceso de flotación mediante la introducción de burbujas de aire.

Las grasas se derivarán hacia el depósito de fangos por un canal colector situado en un extremo de la balsa.

Para la eliminación de las arenas situadas en el fondo del canal se utilizará un sistema de succión que también irá soportado por el puente grúa que soporta las rasquetas.



DISEÑO

Para el diseño de este proceso se toma como referencia los requerimientos necesarios para la eliminación de las arenas, de tal manera que para igualar las velocidades de sedimentación de las arenas con la velocidad de flotación de las grasas y aceites se regulará el caudal de aire.

La velocidad del agua para la sedimentación es de 0,024 m/s, y la velocidad óptima del agua será de 0,3 m/s.

Además se elige un sistema formado por 4 unidades, de tal forma que el caudal de agua que tendrá cada unidad será de 0,25 m³/s.

Para obtener las dimensiones necesarias de cada canal se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$t_h = \frac{b \cdot L \cdot h}{Q}$$

$$t_v = \frac{h}{V_s}$$

$$t_h = t_v \rightarrow V_s = \frac{Q}{b \cdot L}$$

Siendo V_s la velocidad de sedimentación, y b , L y h el ancho, la longitud y la altura de cada unidad respectivamente.

Con estos datos se eligen las siguientes dimensiones:

$$L = 10m$$

$$h = 0,83m$$

$$b = 1m$$

Por necesidad se le aplicará un coeficiente de seguridad a la longitud de 1,25 m obteniendo así un valor de longitud de 12,5 m.

En el sistema de desarenado se diseñará el fondo con una pendiente dirigida hacia el centro del canal donde se encontrará la zona de desarenación.

En esta zona se realiza el depósito de las partículas y se facilita con esto la retirada de estas partículas.

Para conseguir el desengrasado del agua de manera simultánea al desarenado, se introducirá en el fondo del canal un sistema de aireación para desemulsionar las grasas permitiendo su ascenso a la superficie y su retirada.

La velocidad ascensional de estas burbujas de grasa puede estimarse en 3 mm/s, y el caudal de aire a utilizar será proporcional al volumen del canal:

$$Q_{aire} \approx V_{canal} \cdot 1,2m^3 / h = 12,5m^3 / h$$

Para la entrada del agua al sistema de desarenado-desengrasado se requiere de 4 conductos.

En cada conducto se requerirá de una válvula tipo mariposa y una válvula antirretorno para el control de cada canal y para evitar el retorno del agua por estos conductos.

El diseño de esta instalación quedará por tanto con las siguientes características:

Tabla 3.3 Diseño del desarenado

desarenado	
Caudal (m ³ /s)	1
Número de líneas	4
Longitud (m)	10,00
Altura (m)	0,83
Anchura (m)	1,00
Caudal unitario (m ³ /s)	0,25
Tiempo de retención	33,20
Velocidad del agua (m/s)	0,30
Velocidad de caída (m/s)	0,025
Longitud seguridad (m)	12,50

Tabla 3.4 Diseño del desengrasado

desengrasado	
velocidad ascensional (mm/s)	3
Caudal de aire (m ³ /s)	12,5

En los canales dedicados al desengrasado desarenado se tendrá previsto un sistema de rasquetas que actuarán en la superficie del agua para arrastrar las partículas de grasa de la superficie.

También para la función de desengrasado se incluirá un sistema de conductos de aire que estarán situados en el centro de cada canal. Como se ha dicho, el caudal de aire será de 12,5 m³/h.

Para la eliminación de las arenas será necesario un sistema de succión, que consistirá en un sistema de aire comprimido que generará un elevado vacío que producirá la capacidad de aspiración de las arenas.

Los elementos auxiliares vendrán especificados en las siguientes tablas.

Tabla 3.5 Grupo de succión del desarenador

Grupo de succión	
Unidades	4
Presión de vacío (kPa)	25
Caudal de aire (Nm ³ /h)	295
Caudal de aspiración (Nm ³ /h)	15
Potencia (kW)	2,05

Tabla 3.6 Grupo de compresión del desengrasador

Grupo de compresión	
Unidades	4
Caudal de aire (Nm ³ /h)	12,5
Presión de aire (kPa)	50
Potencia (kW)	0,2

3.4 Filtrado de arena

FUNCIONAMIENTO

La operación de filtrado del agua en arena se utilizará para eliminar sólidos en suspensión.

Los filtros a utilizar serán filtros de arena por gravedad, es decir, el agua atravesará el filtro movido por la fuerza de gravedad. Este sistema es el óptimo para la potabilización del agua debido a que de esta forma el proceso puede ser supervisado por un operario desde fuera.

El filtrado consiste en hacer atravesar el agua a través de una columna de arena provocando que sólidos en suspensión queden atrapados en los huecos de la arena, mientras que el agua atraviesa estos huecos.

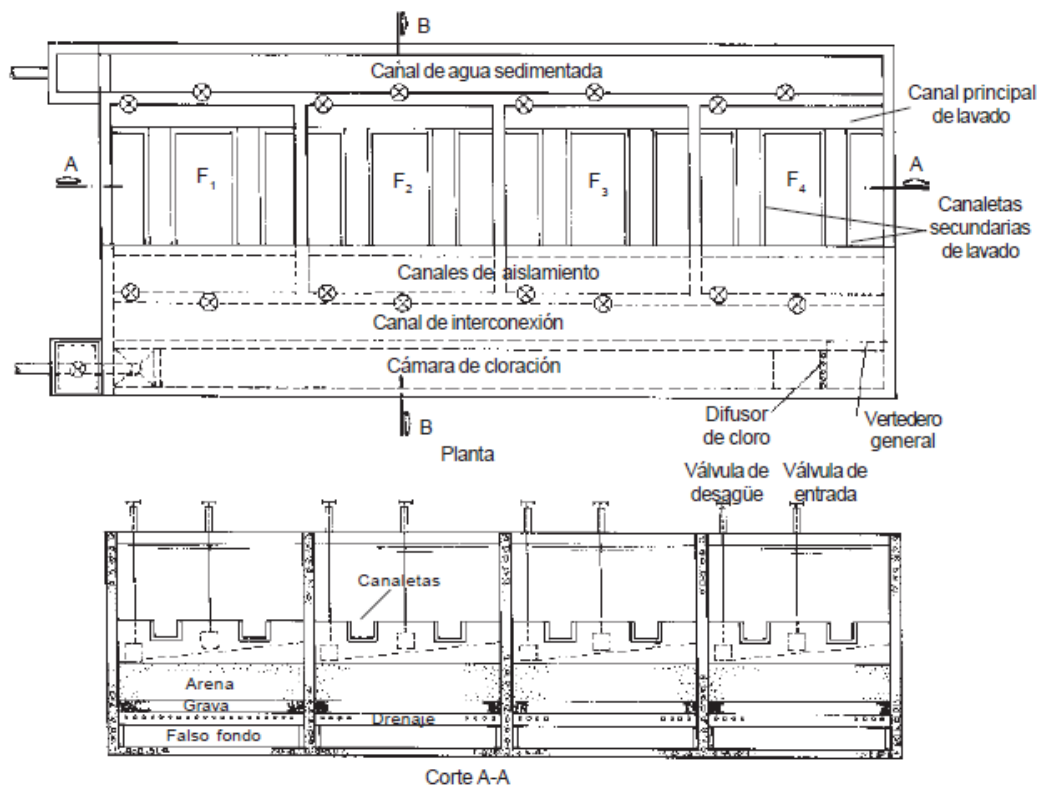
La acumulación de Sólidos en Suspensión provoca dos situaciones en los filtros, aumenta la carga del filtro, y por tanto la pérdida de presión en el agua, y aumenta la sobrecarga de sólidos en el filtro, llegando hasta la saturación de éste.

Para evitar esto se establece el punto de capacidad límite del filtro. Cuando el filtro se encuentre en este punto se procederá a la parada del filtro para su posterior lavado con agua y aire a contracorriente.

El lavado se hace inicialmente con aire para romper el lecho de agua y facilitar su lavado posterior con agua.

En el proceso de lavado del filtro se produce una expansión del lecho de agua de hasta un 15%. En este punto se produce una separación de las partículas que componen el lecho en función de su tamaño, quedando en la parte superior los sólidos en suspensión y en la parte inferior la arena.

Estos sólidos serán retirados por arriba. Es preciso tener en cuenta que en este proceso se pierde una cantidad de arena que deberá ser sustituida para no perder eficiencia en la posterior utilización del filtro.



DISEÑO DEL FILTRO

Los filtros de arena están contenidos en una estructura de hormigón.

En el fondo de la estructura hay un espacio libre para la evacuación del agua filtrada y para la alimentación de los fluidos de lavado del lecho. Una placa soporta el lecho filtrante. Ésta placa llevará colectores rasurados que impiden que se escape la arena.

Encima del filtro hay un espacio libre por donde se alimenta el agua a filtrar y sale el agua de lavado.

El sistema de filtrado se compondrá de dos medios:

- El medio 1 que se encontrará en la parte superior del filtro, y que estará compuesto de antracita
- El medio 2 estará por debajo del medio 1 y estará compuesto de arena.

Filtrado del agua

Para el filtrado del agua en arena tendremos en cuenta las siguientes características del agua:

- Caudal total (Q): $3600\text{m}^3/\text{h}$
- Sólidos en suspensión de entrada (SS_e): 100
- Sólidos de suspensión de salida (SS_s): 40

Debido al alto caudal de agua se diseñarán 7 cámaras de filtrado, de las cuales una de ellas estará en reserva y entrará en funcionamiento cuando otra proceda al lavado.

Además, como valor de referencia se tomará que la filtración del agua en arena será de $22\text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (valor obtenido del manual CEPIS para baterías de filtros de lecho doble)

De esta forma se asegurará que todas ellas puedan lavarse sin alterar el funcionamiento global de filtrado.

- Velocidad de filtración del agua en la arena (V_f): $22\text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Número de unidades totales (N_t): 7 ud
- Número de unidades simultáneas (N_s): 6 ud

Por tanto el caudal para cada columna se obtiene dividiendo el caudal total entre el número de unidades simultáneas, obteniendo un caudal de $Q_c=600\text{ m}^3/\text{h}$

Con la velocidad de filtración fijada se puede calcular la superficie útil necesaria para obtener la superficie necesaria para cada columna:

$$S_c = V_f / Q_c$$

Obteniendo una superficie de 27,27 m² para cada columna, y necesitaremos una superficie total para el proceso de 191 m².

Para aprovechar bien el terreno elegiremos una superficie rectangular de 21x9 m, por lo que cada filtro de arena tendrá unas dimensiones de 9x3 m.

El tiempo de operación por ciclo será de 6 h y será el tiempo en el cual un filtro se encuentra en proceso de filtrado sin ser lavado. Como se tiene siete filtros totales el tiempo máximo de lavado del filtro será de 1 h.

El volumen de sólidos a retener por ciclo será igual a la diferencia entre el valor de sólidos de entrada y salida del filtro multiplicado por el volumen de agua filtrado por ciclo y por filtro:

$$V_c = Q_c \cdot T_c$$
$$S_c = (S_E - S_S) / V_c$$

De esta forma el volumen de sólidos a retener por cada filtro en un ciclo de funcionamiento será de 216 kg.

La capacidad de retención de cada uno de los medios utilizados en cada filtro es de 4,5 y 3,4 kg/m³ para el medio superior e inferior respectivamente.

De esta forma el volumen del lecho por filtro será el cociente entre los sólidos a retener por ciclo y por filtro y la capacidad media de retención de cada filtro, obteniendo un valor de 52,36 m³

Con este valor y el valor obtenido de superficie por filtro se obtiene que el valor de la altura total del filtro será de 2,25 m con valores de 1,5 m para el medio 1 y 0,75 m para el medio 2.

La altura del filtro total incluyendo la expansión del filtro en el lavado y los componentes adicionales será de 4 m.

Lavado de los filtros

El lavado del filtro consistirá en un lavado de aire previo a un lavado de agua a contracorriente.

Las velocidades óptimas de agua de lavado y de aire de lavado serán de 35 y 60 m³/h respectivamente (valores obtenidos del manual CEPIS para filtros de arena).

El agua de lavado se obtendrá del agua filtrada que se almacenará en un depósito con la capacidad suficiente para el lavado de un filtro en un ciclo completo.

Se necesitará de un sistema de elevación del agua de lavado que aportará la presión hidráulica de 12,5 m a un caudal de 954,55 m³/h.

El sistema de inyección de aire de lavado consistirá en un sistema de compresión de aire que aportará un caudal de 1636 m³/h.

El agua de lavado, una vez atravesado el filtro se verterá al conducto de fangos que se tratará de manera especial.

A continuación se detalla una tabla resumen sobre las características del diseño de la instalación:

Tabla 3.7 Diseño del filtro de arena

Filtros de arena	
Número de unidades	7
Tipo	Lento
Superficie unitaria (mxm)	9x3
Altura del lecho (m)	4
Sólidos suspensión influente (ppm)	100
Sólidos suspensión efluente (ppm)	40
Tiempo de operación por ciclo (h)	6
MEDIO FILTRANTE N° 1	
Tipo	Antracita

Volumen por filtro (m ³)	41,18
MEDIO FILTRANTE N° 2	
Tipo	Arena
Volumen por filtro (m ³)	20,45

Les unidades de compresión de aire de lavado y de elevación de agua de lavado tendrán las siguientes características:

Tabla 3.8 Grupo de compresión de filtros de arena

Grupo de compresión	
Número de unidades	1+1
Caudal unitario (Nm ³ /h)	1636,36
Presión de descarga (m.c.a.)	7,76
Fluido	Aire Atmosférico
Potencia (kW)	42

Tabla 3.9 Sistema de elevación de agua de lavado en filtros de arena

Sistema de elevación	
Número de unidades	1+1
Caudal unitario (Nm ³ /h)	954,55
Presión diferencial (m.c.a.)	15,49
Potenica (kW)	40,25

3.5 Cloración

FUNCIONAMIENTO

Previo al sistema de filtrado por carbón activo, se encuentra la cloración.

El objetivo principal de este proceso es principalmente la eliminación del hierro y del manganeso disueltos en el agua.

El hierro y el manganeso son elementos comunes en la superficie de la tierra. A medida que el agua se filtra por el suelo y las piedras puede disolver estos minerales.

Además, los tubos de hierro pueden corroerse y disolver hierro dentro del abastecimiento de agua.

Los niveles máximos de contaminante para hierro y manganeso es de 0.3 miligramos por litro (mg/L) y 0.05 mg/L, respectivamente.

El proceso por el cual se producirá la eliminación del cloro y del manganeso consistirá en la oxidación de estos y su siguiente filtración por carbón activo.

En este proceso se producirá la oxidación mediante la utilización de cloro. El cloro actuará como oxidante de los metales disueltos produciendo partículas que se eliminarán mediante la filtración.

Una buena oxidación de las partículas con cloro se conseguirá con un pH del agua de 6,5 a 7,5. El cloro debe estar en contacto con el agua al menos 20 minutos.

DISEÑO

Debido al requerimiento necesario de tiempo de contacto del agua con el cloro, será necesaria una cámara de cloración que asegure que este tiempo se cumplirá.

Para obtener el volumen necesario se obtendrá de la siguiente fórmula:

$$Vol = Q \cdot t$$

Por tanto se requerirá un volumen de 1200 m³. Además la cámara de cloración tendrá 3 divisiones longitudinalmente para ayudar al mezclado del agua y del cloro.

Por otra parte el cloro que se añadirá será obtenido de los depósitos de almacenamiento, que tendrán el volumen necesario de cloro para su dosificación en el proceso de cloración y en la cámara de mezcla de cloramina, posterior a los filtros de carbón activo.

El cloro se obtendrá en la forma comercial, que será en una solución acuosa de hipoclorito de sódico, y que tendrá un 18% de cloro puro.

La dosificación de cloro máxima necesaria en este proceso será de $D = 5$ ppm.

De esta forma el caudal necesario de cloro será:

$$q = Q \cdot D \cdot 1000 \cdot \frac{100}{18}$$

El valor obtenido es de 27,8 l/s.

Por tanto para la dosificación de cloro será necesarias 2 bombas (1+1) de caudal de 27,8 l/h.

Para una precisión de este caudal serán necesarias bombas peristálticas que aseguren una caudal constante.

Para controlar de manera precisa el caudal obtenido por las bombas dosificadoras en todo momento será necesario un caudalímetro.

En principio el caudal de dosificación permanecerá constante debido a que el valor del caudal de agua a tratar es constante.

Tabla 3.10 Diseño de cloración

Cloración	
Caudal de agua (m ³ /s)	1,00
Tiempo de contacto (min)	20,00
Volumen de depósito (m ³)	1200,00
Altura (m)	8,00
Superficie (mxm)	20x7,5
Concentración de cloro (%)	18,00
Dosificación máxima (ppm)	5,00
Caudal de solución (cm ³ /s)	27,78
Almacenamiento	
Sustancia	Hipoclorito sódico
Volumen de almacenamiento (m ³)	10,00
Tiempo de recarga (días)	4,17

El sistema de elevación dispuesto en el lugar de almacenamiento tendrá las siguientes características

Tabla 3.11 Sistema de elevación del hipoclorito sódico

Sistema de elevación	
Unidades	1+1
Caudal (m ³ /s)	27,28
Tipo	Peristálticas
Altura (m.c.a.)	2,00

3.6 Filtros de carbón activo

FUNCIONAMIENTO

El carbón activo se utilizará para fijar en su superficie moléculas orgánicas por medio de la adsorción. La adsorción es un proceso por el cual las moléculas que superficialmente están sometidas a fuerzas desequilibradas se unen a otras moléculas para que se compensen. Éstas fuerzas se conocen como fuerzas de Van der Waals, son de corto alcance, aditivas y despreciables a distancias mayores de dos capas moleculares, por lo que no se absorbe más que una capa de moléculas.

Como el principal factor que influye en el rendimiento de la adsorción es la fuerza superficial, éste se encontrará en forma de granos, de esta forma se aprovechará de manera más eficiente la superficie del carbón en contacto con el agua con respecto del volumen total de carbón activo.

De esta manera hablaremos de dos tipos de densidad: la densidad real, que será la densidad propia de cada grano por separado, y la densidad aparente, que será la densidad proporcionada por un conjunto de granos teniendo en cuenta que estos no se apilarán de manera homogénea proporcionando una densidad menor a la densidad real.

Como en el caso de los filtros de arena, los filtros de carbón activo también llegarán a su saturación después de su uso. Por lo que será necesario su posterior lavado con aire y agua.

DISEÑO DEL FILTRO

El diseño de los filtros de carbón consistirá en 6 unidades, todas ellas conectadas en paralelo. La instalación funcionará de la siguiente manera:

En primer lugar solo 5 de los 6 filtros de carbón se utilizarán a la vez, de manera que el sexto podrá estar en proceso de regeneración o de lavado, este proceso se explicará posteriormente

Filtrado del agua

El agua de entrada a los filtros entrará en primer lugar a un depósito inicial que tendrá seis salidas, cada una de ellas dirigidas a cada uno de los filtros.

La dirección de entrada del agua a este depósito puede provocar que el agua tienda a elegir una de las salidas más que otras y que el filtro de esa salida sea más utilizado, y por tanto, más desgastado que los otros.

Para evitar esto estas salidas vendrán precedidas por 6 válvulas tipo compuerta de accionamiento por husillo manual que serán capaces de abrirse, cerrarse, o de mantenerse entreabiertas en proporción al número de vueltas producidas en la rueda del husillo. Como este tipo de compuerta es de control manual se contará con la estructura necesaria para la accesibilidad de los operarios.

La manera de evitar que el agua se dirija hacia una salida más que hacia otra es entreabriendo las compuertas más cercanas a la dirección del agua y manteniendo abiertas las compuertas más alejadas.

Posterior al depósito de entrada se encuentran los 6 filtros de carbón activo. Para el dimensionamiento de estos filtros se ha partido de la hipótesis de una velocidad ascensional de la columna de agua de $15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, que se encuentra dentro del rango establecido entre 7 y $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Además se prevé un tiempo de contacto que permanecerá el agua en los filtros de 20 min dentro del rango usual para este parámetro de entre 15 y 60 min (valores de velocidad ascensional y tiempo de contacto obtenidos de *"Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: aguas de proceso, residuales y de refrigeración"* para filtros de carbón activo).

Como se trata de 5 filtros actuando a la vez, el caudal que pasará por cada columna será de $720 \text{ m}^3/\text{h}$. De esta manera se necesitará una superficie para cada columna de:

$$S_c = \frac{V_a}{Q_c}$$

Siendo S_c la superficie de cada filtro de carbón, V_a la velocidad ascensional, y Q_c el caudal de cada uno de los filtros. Con esta fórmula la superficie que obtenemos es de 48 m^2 . Y por tanto la superficie total de los 6 filtros será de 288 m^2 . La disposición cada uno de los filtros será rectangular de tal

manera que entre los seis formen un cuadrado de 17 m. de lado. De esta manera cada filtro tendrá unas dimensiones de 2,9x17 m.

Por otra parte para obtener el volumen útil de la columna se utilizará la siguiente ecuación.

$$V_c = Q_c / t$$

Siendo t el tiempo de contacto del agua en los filtros. El volumen de cada filtro será de 240 m³ y por tanto cada filtro tendrá una altura útil de 5 m.

El recorrido del agua posterior al depósito de entrada se encuentra con la entrada a los filtros por medio de válvulas neumáticas, que conducirá al agua a los filtros de carbón activo a través de un canal que se encontrará centrada en el filtro y que cuya altura se irá reduciendo de manera longitudinal. De esta manera se conseguirá una distribución uniforme a lo largo de toda la superficie del filtro.

Una vez el agua ha atravesado los filtros de carbón éste se conduce a un nuevo depósito que se encuentra en el mismo frente por el que ha entrado, escapando éste por uno de los laterales.

La disposición elegida para la entrada y salida del agua por los filtros resulta idónea para el lavado del agua que seguirá el proceso siguiente:

Lavado de los filtros

En primer lugar el agua de salida de los filtros contará con un bypass controlado por una válvula neumática que recogerá una cantidad de agua y la dirigirá hacia un depósito. Éste será el depósito de almacenamiento de agua de lavado y estará dimensionado para albergar en él la cantidad de agua suficiente para un solo lavado. Para controlar este volumen de agua se contará con un sensor de nivel que se activará cuando el agua esté a la altura suficiente enviando una señal que provocará que la válvula de entrada del agua se cierre.

Este depósito conectará a través de conductos con el fondo de los filtros al otro lado del canal de salida del agua filtrada. El agua de limpieza atravesará en dirección contraria los filtros y saldrá por la misma zona de entrada con el conducto cerrado y se recogerá en un depósito que se encontrará por encima del agua ya filtrada.

Además del agua de limpieza, para el lavado de los filtros, se contará con el aire de lavado, que estará provocado por una serie de soplantes y será conducido hacia los filtros por la misma entrada que la del agua de salida

El lavado, como se ha dicho, se hace mediante aire y agua, con caudales y velocidades de lavado que han de ser suficientes para distintos tipos de carbón activo, por lo que como dato de partida serán 50 m/h para el aire y 21 m/h para el agua.

Al lado del depósito de agua de lavado se encontrará la sala de bombas de agua de lavado y de soplantes. Estas bombas de agua tendrán el caudal y la potencia suficiente para conseguir vencer el salto suficiente de agua sobre los filtros de carbón.

Regeneración de carbón activo

Por otra parte una vez se hayan hecho los ciclos de lavado suficiente, éste debe ser repuesto con facilidad. Para ello se ha dispuesto que uno de los lados de los filtros a la altura de estos permanezca totalmente libre, sin ningún canal de entrada ni de salida de agua.

De esta forma en ese lado de los filtros se podrá implementar el sistema de carga y recarga del carbón activo. Este sistema contará con un puente grúa que se podrá desplazar transversalmente a cada filtro, para llegar a todos los rincones de estos. Y también se podrá desplazar longitudinalmente al principio de cada filtro, y de esta manera se podrá llegar a los seis filtros.

Como solo es un filtro el que estará parado, sólo será necesario un puente grúa con la disposición requerida anteriormente. En el extremo opuesto de cada filtro se podrá emplazar el vehículo necesario para el transporte del carbón activo.

Elementos electromecánicos y conductos

Para el diseño del sistema de filtrado del agua expuesto será necesaria la utilización de 6 válvulas tipo compuerta de diámetro 0,8 m seguido de 6 conductos de este mismo diámetro. En cada uno de estos conductos se incorpora también una válvula anti retorno para evitar que el agua vaya en dirección opuesta al filtro.

A continuación se encuentra el filtro de carbón activo formado por el canal centrado en el filtro, el propio carbón activo con un volumen total de 240 m^3 por columna, y los falsos fondos, que permite la salida del agua sin dejar pasar el carbón activo.

Posterior al filtrado del agua se llega a un canal situado en el centro de la columna y en el fondo, que tiene una conexión con el depósito de salida a través de otro conducto de 0,8 m de diámetro y provisto de una válvula tipo mariposa.

Por último éste depósito de salida tendrá otra conexión con la salida hacia el proceso de cloración final.

Para el lavado de agua los elementos adicionales que se necesitarán serán los siguientes:

Para el lavado con agua se tendrá un conducto de 0,8 m de diámetro para la conexión entre el depósito de salida y el depósito de agua de lavado. Este

conducto estará provisto de una válvula de mariposa que estará conectada al sensor de nivel incorporado en el mismo depósito.

Adicionalmente al conjunto de presión del sistema de lavado, que se analizará posteriormente, se incorpora un conducto de 0,7 m de diámetro con una longitud de 37,66 m, de manera longitudinal a cada columna, con ramificaciones en cada una de estas para la conexión del conducto con cada una de las columnas. Estas ramificaciones llevarán a su vez su correspondiente válvula mariposa de 0,7 m de diámetro.

El resto del recorrido del agua de lavado será por el propio filtro, hasta llegar a la parte superior del filtro donde el agua rebasará por encima de la pared de entrada. Este sistema de rebase también será utilizado de sistema seguridad en caso de que el agua de entrada al filtro sobrepase los valores de caudal recomendados, o bien se produzca algún problema en el filtro que impida que el filtro funcione correctamente.

Por último, para el aire de lavado se instalarán los correspondientes soplantes, que son los grupos de presión para el aire y que se analizarán posteriormente, seguidos por un conducto de 0,4 m de diámetro y una longitud de 41 m.

Cálculos hidráulicos en los filtros de carbón activo

A continuación se calcula la pérdida de carga del agua en el proceso de filtración por carbón activo.

Debido a que el caudal del agua se divide en varios recorridos durante el proceso, para simplificar la obtención de la pérdida de carga en los puntos donde se vaya a dividir o unir el caudal se tendrá en cuenta que el agua hará el recorrido mayor, que será el que tenga más pérdida.

La pérdida de carga en los conductos y canales que se encuentran en los filtros de carbón se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.12 Pérdida de carga en conductos y canales

conductos y canales	D hidráulico (m)	L (m)	Uds.	Δh ud. (mca)
depósito de entrada	3,21	17,75	1	6,39E-05
conducto entrada	0,80	5,00	5	7,97E-04
canal superior filtros de carbón	0,80	8,95	5	1,81E-04
canal central salida del agua	1,23	8,95	5	1,73E-05
conducto central de salida	0,80	1,32	5	2,10E-04
depósito salida del agua	3,10	35,50	1	1,51E-04

Por otra parte la pérdida de carga provocada por las válvulas y compuertas a instalar en el sistema de filtrado es la siguiente:

Tabla 3.13 Pérdida de carga en válvulas y compuertas

válvulas y compuertas	D hidráulico (m)	Uds	Factor k	Δh ud. (mca)
compuerta	3,00	1	2,10	2,14E-03
compuerta	0,80	5	0,29	2,32E-03
válvula anti retorno	0,80	5	4,27	3,45E-02
válvula mariposa	0,80	5	11,84	9,55E-02
válvula anti retorno	0,80	5	4,27	3,45E-02

Las pérdidas de carga de las contracciones y expansiones serán:

Tabla 3.14 Pérdida de carga en extracciones y contracciones

extracciones y contracciones	D inicial (m)	D final (m)	Uds	Factor k	Δh ud. (mca)
depósito entrada agua-conducto entrada	-	0,8	5	0,50	4,03E-03
conducto entrada-canal superior filtros	0,8	0,8	5	0,00	0,00E+00
canal superior filtros de carbón-filtros de	0,8	-	5	1,00	8,07E-03
filtros de carbón-canal central de salida	-	1,23	5	0,50	7,22E-04
canal central salida-conducto central salida	1,23	0,8	5	0,33	2,69E-03
conducto central salida-depósito salida	0,8	-	5	1,00	8,07E-03

Por último, la pérdida de carga producida por el filtrado del agua en carbón activo, se calculará de la siguiente manera:

$$\Delta h = \Delta h_m \cdot l_c$$

Siendo Δh_m la pérdida de carga por metro de altura. Este dato puede variar en función del carbón activo empleado, el valor que utilizaremos para realizar los cálculos será de 0,52 m.c.a/m. El valor de la altura de la columna de agua es de 5 m. Por tanto el valor de la pérdida de carga en los filtros será de 2,6 m.c.a.

Sumando las pérdidas de carga de toda la instalación se obtiene un valor de 3,56 m.c.a.

Sistemas de elevación de agua y compresión de aire

- Sistema de elevación de agua a tratar

Previo al sistema de filtrado se instalará el sistema de elevación del agua a tratar para que el proceso pueda ser realizado.

El sistema consistirá en 2+1 bombas de un caudal de 0,5 m³/s con una potencia suficiente para elevar el agua desde el canal inicial hasta el depósito de entrada del agua.

A continuación se muestra la tabla de las características de las bombas elegidas para la operación:

Tabla 3.15 Sistema de elevación de agua a tratar

Sistema de elevación	
Número de equipos de bombeo	2+1
Caudal (m ³ /s)	0,5
Altura (m.c.a.)	4
Potencia (kW)	>17.46

Por otra parte el diseño del filtro de carbón también incluyen los siguientes sistemas:

- Sistema de elevación del agua de lavado

El sistema de elevación de agua de lavado tendrá las siguientes características

Tabla 3.16 Sistema de elevación del agua de lavado

Sistema de elevación de agua de lavado	
Unidades	1+1
Caudal (m ³ /h)	794,4
Presión diferencial (m.c.a.)	6
Potencia (kW)	13,00

- Sistema de compresión de aire de lavado

Tabla 3.17 Sistema de compresión de aire de lavado

Sistema de compresión de aire de lavado	
Unidades	1+1
Caudal (m ³ /h)	2400
Presión de descarga (m.c.a.)	5
Fluido	Aire atmosférico
Potencia (kW)	40

3.7 Cámara de mezcla

FUNCIONAMIENTO

En la cámara de mezcla se producirá la desinfección del agua y el aporte de cloro residual que exige la Directiva Europea.

Esta normativa fija unos parámetros indicadores de cloro libre y residual en la red de abastecimiento de 2 mg/l para el cloro combinado.

El cloro residual se consumirá en la red de distribución debido a:

- Las sustancias presentes en el agua que no hayan sido eliminadas
- Condiciones físico-hidráulicas tales como temperatura, agitación, turbulencias...
- Y al consumo que se produce en la interfase con las paredes de las conducciones

El cloro residual combinado estará constituido por cloraminas. Por otra parte el cloro residual libre estará constituido esencialmente por el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito.

La principal ventaja de la utilización de las cloraminas frente al cloro libre es el tiempo de permanencia:

La disminución del cloro residual en una masa de agua viene dada por la siguiente expresión:

$$C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$$

Siendo $C(t)$ la concentración de cloro en el tiempo, C_0 la concentración inicial de cloro, t el tiempo de reacción y el factor k , cuanto mayor es el valor de k mayor es la reducción de cloro a lo largo del tiempo.

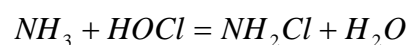
El valor del factor se puede estimar para el cloro residual libre con un valor 10 veces mayor del valor de este factor para las cloraminas.

Otra razón por la que se utilizará el cloro residual combinado en lugar del cloro residual libre será la de evitar formar en la medida de lo posible los conocidos subproductos de la desinfección, especialmente los trihalometanos y los ácidos haloacéticos.

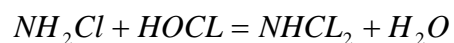
Además las cloraminas al ser más estables que el cloro libre resultan muy efectivas para evitar el recrecimiento bacteriano en la red y las corrosiones de la misma.

Las reacciones de formación de las cloraminas son las siguientes.

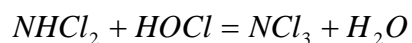
Para la formación de monocloraminas:



Posterior a la formación de monocloraminas se formarán dicloraminas:

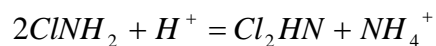


Por último se producirán las tricloraminas:



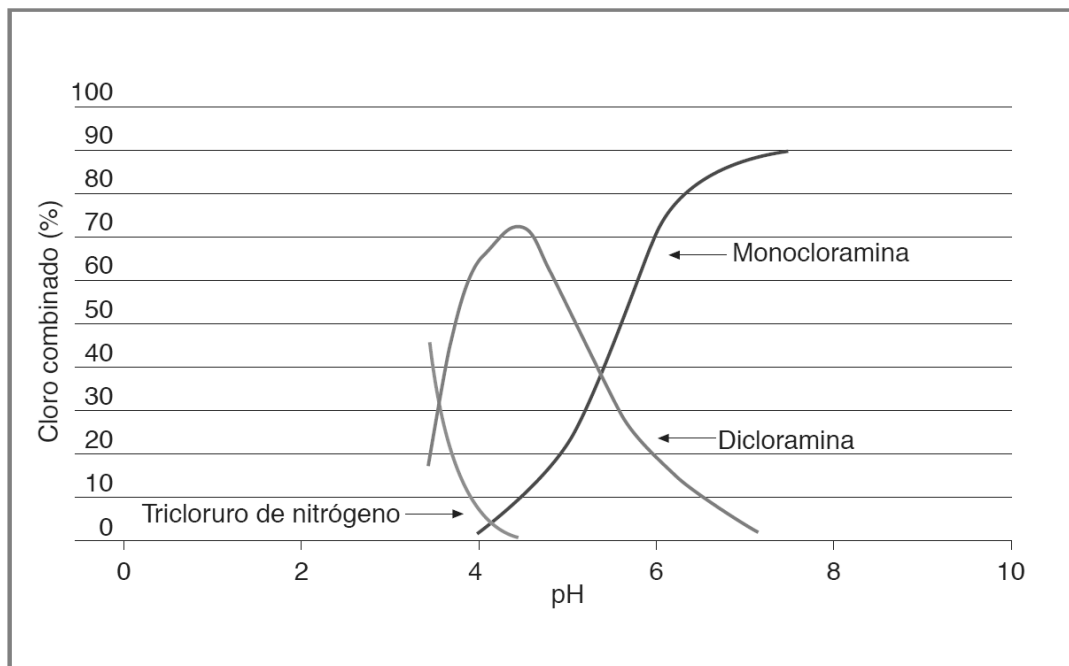
La formación de una u otra cloramina, así como la velocidad de reacción, se verá regida por el pH del agua, la temperatura y la proporción del cloro y del amoníaco.

La distribución de la monocloramina y dicloramina se ajusta a la siguiente reacción de equilibrio:



En el siguiente gráfico se muestra la relación entre las diferentes especies de cloraminas en función del pH.

Figura 3.2 Relación entre las diferentes especies de cloraminas



Como se puede observar, A pH superior a 7 y una relación molar de cloro amoniacal menor a 1 predominará la formación de monocloramina, su tasa de formación es muy rápida. Su rapidez máxima se obtendrá con un pH de 8,3.

La tasa de formación de dicloramina es más baja, su máximo se alcanza a pH próximo a 4,5; a pH inferior a 4, fundamentalmente sólo habrá tricloramina o tricloruro de nitrógeno

Por tanto, a los pH normales de tratamiento, próximos a 7-8, la principal cloramina que se encuentra presente es la monocloramina, mientras que la dicloramina no representará un porcentaje significativo en el total, a menos

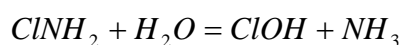
que la relación molar del cloro y amoníaco sea mayor que 1. En estas condiciones de pH no se obtendrá tricloramina.

Para la potabilización del agua se buscará la obtención de monocloraminas, debido a que tanto la dicloramina como la tricloramina pueden ocasionar problemas de olores y sabores.

La capacidad de las cloraminas de eliminación de las bacterias es atribuida al grado de hidrólisis de estas y a la propia cloramina no hidrolizada.

La pequeña constante de hidrólisis de las cloraminas sólo permite la formación de una pequeña cantidad de ácido hipocloroso, pero a medida que este se consume, la hidrólisis continua de la cloramina proporciona más ácido hipocloroso y amoníaco.

La hidrólisis viene representada por la siguiente reacción:



DISEÑO DE LA CÁMARA DE MEZCLA

La cámara de mezcla constará en un depósito donde se conseguirá la disolución de los componentes en el agua.

Para la correcta disolución de estos se requerirá de un mezclador que consiste en un agitador de turbina. Este consta de un disco o eje con

impulsores, los cuales imparten movimiento al líquido a través de la rotación del disco.

La adición de un agitador en la cámara de mezcla evita que ésta sea demasiado grande, debido a que el tiempo de permanencia del agua podrá ser menor.

El tiempo de permanencia óptimo para la disolución del cloro y el amonio se considerará de 5 minutos, obteniendo un volumen necesario de la cámara de:

$$V = Q \cdot t$$

Siendo Q el caudal del agua tratada y t el tiempo de permanencia, obteniendo un valor de 300 m³.

La concentración de cloro necesaria para este tratamiento es de 2 ppm, y la relación en peso entre cloro y amonio para producir monocloramina es de 4 a 1 (relación molar de 1 a 1), necesitando por tanto una aportación de amonio de 0,5 ppm.

Los valores representativos de la cámara de mezcla serán los siguientes

Tabla 3.18 Diseño de la cámara de mezcla

Cámara de mezcla	
Caudal de agua (m ³ /s)	1,00
Tiempo de contacto (min)	5,00
Volumen de depósito (m ³)	300,00
Altura (m)	6,00
Área (mxm)	8,5x5,9
Concentración de cloro (%)	18,00
Dosificación de cloro máxima (ppm)	2,00
Caudal de solución (cm ³ /s)	11,11
Concentración de amonio (%)	25
Dosificación de amonio máxima (ppm)	0,5
Caudal de solución (cm ³ /s)	2,00

Se necesitará los correspondientes sistemas de almacenamiento de cloro y amonio. Como en el caso de la cloración, ambas sustancias vendrán diluidas en agua y almacenadas en depósitos cilíndricos.

Tabla 3.19 Almacenamiento de cloro y amonio

Almacenamiento cloro	
Sustancia	Hipoclorito sódico
Volumen de almacenamiento (m ³)	10,00
Tiempo de recarga (días)	10,42
Almacenamiento amonio	
Sustancia	Hidróxido de amonio
Volumen de almacenamiento (m ³)	5,00
Tiempo de recarga (días)	28,94

También será necesario un sistema de elevación de los componentes desde el depósito a la cámara de mezcla.

Tabla 3.20 Sistemas de elevación a cámara de mezcla

Sistema de elevación cloro	
Unidades	1+1
Caudal (cm ³ /s)	11,11
Tipo	Peristálticas
Altura (m.c.a.)	2,00
Sistema de elevación de amonio	
Unidades	1+1
Caudal (cm ³ /s)	2,00
Tipo	Peristálticas
Altura (m.c.a.)	2

4. Calidad del agua

Calidad inicial:

La calidad inicial del agua proporcionada a la entrada de la instalación será la reflejada en los siguientes datos.

Tabla 4.1 Calidad inicial del agua

Sólidos en suspensión	DBO	DQO	Dureza	Nitritos	Fosfatos
400 ppm	30	45	350 mg/l	2,5 ppm	0,8 ppm

Estos serán los valores característicos para los cuales se estudiará a continuación a través del diseño y de estimaciones oportunas en cada uno de los procesos que componen la instalación.

Tamizado:

Con el tamizado se consigue la eliminación de sólidos suspendidos en el agua. El rendimiento sobre los sólidos en suspensión es estimado en un valor de 50%.

Por tanto los valores característicos al final de este proceso serán los reflejados a continuación.

Tabla 4.2 Calidad del agua a la salida del Tamizado

Sólidos en suspensión	DBO	DQO	Dureza	Nitritos	Fosfatos
200 ppm	30	45	350 mg/l	2,5 ppm	0,8 ppm

Desengrasado/desarenado:

Tras el desengrasado y desarenado se consigue una eliminación sustancial de sólidos en suspensión del 50% y la eliminación de grasas consigue la eliminación de la DQO y la DBO en un 30%.

Obteniendo la siguiente tabla de calidad del agua.

Tabla 4.3 Calidad del agua a la salida del desarenado/desengrasado

Sólidos en suspensión	DBO	DQO	Dureza	Nitritos	Fosfatos
100 ppm	9	13,5	350 mg/l	2,5 ppm	0,8 ppm

Filtros de arena

El sistema de filtrado de arena se diseña para eliminar un 60% de los sólidos en suspensión, consiguiendo además la eliminación del 80% de los valores de DBO y de DQO.

Tabla 4.4 Calidad del agua a la salida de los filtros de arena

Sólidos en suspensión	DBO	DQO	Dureza	Nitritos	Fosfatos
40 ppm	1,8	2,7	350 mg/l	2,5 ppm	0,8 ppm

Cloración y Filtros de Carbón

Con la cloración se consigue la oxidación de elementos químicos que se eliminarán en los filtros de carbón. Los valores sobre la calidad del agua de este proceso serán de:

- Rendimiento sobre sólidos en suspensión 70%
- Rendimiento sobre DBO y DQO 75%
- Rendimiento sobre la dureza 90%
- Rendimiento sobre el nitrógeno y el fósforo 80%

Y la tabla de calidad del agua quedará

Tabla 4.5 Calidad del agua a la salida de los filtros de carbón

Sólidos en suspensión	DBO	DQO	Dureza	Nitritos	Fosfatos
12 ppm	0,45	0,405	35 mg/l	0,5 ppm	0,16 ppm

Cámara de mezcla

En la cámara de mezcla, proceso final del sistema se persigue mantener los niveles previos y aportar cloro residual en forma de cloraminas durante el recorrido de suministro.

Por tanto los niveles finales de calidad del agua serán

Tabla 4.6 Calidad final del agua

Sólidos en suspensión	DBO	DQO	Dureza	Nitritos	Fosfatos
12 ppm	0,45	0,405	35 mg/l	0,5 ppm	0,16 ppm

Adicionalmente se instalará en la planta un sistema de control del agua de salida para mayor seguridad.

También la instalación contará con un sistema de regulación de pH para evitar que éste obtenga valores demasiados altos o demasiado bajos de pH.

5. Sondas de control

5.1 Medidor de caudal

Previo a la entrada del agua en el sistema de tamizado, se procederá a la medición del caudal del agua de entrada.

En la actualidad existen multitud de sistemas que miden el caudal de agua en un conducto, como los tubos de venturi, rotámetros...

El medidor de caudal que se utilizará será un medidor de tipo ultrasónico.

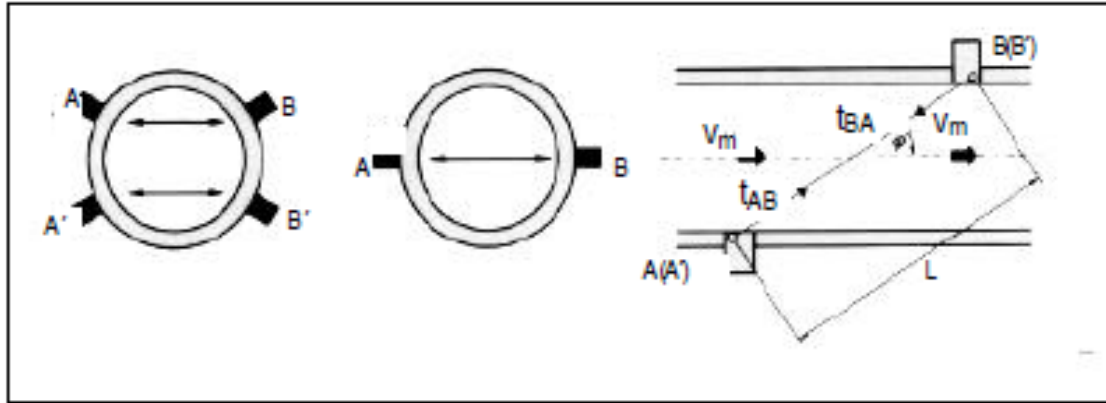
Este medidor se aplicará por la cara externa de las tuberías, sin la necesidad de efectuar ninguna intervención sobre ella. Permitirá la medición de caudales de agua en tuberías llenas.

Los medidores ultrasónicos de caudal permiten obtener el caudal para tuberías de hasta 3 m de diámetro y con espesores de hasta 40 mm.

El funcionamiento del medidor consiste en obtener el diferencial de tiempo que tarda en viajar una onda en el fluido a favor del flujo y en contra del mismo.

La onda que viaja en la dirección del flujo se propaga más rápidamente que la que viaja a contracorriente. La velocidad media del flujo será proporcional a la diferencia del tiempo de viaje de cada una de las dos ondas.

El caudal por tanto será el producto de la velocidad media del flujo por el área de la sección de la tubería.



5.2 Sonda de turbidez

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbidez en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. En lagos la turbiedad es debida a dispersiones extremadamente finas y coloidales, en los ríos, es debido a dispersiones normales.

Las sondas detectan con mucha precisión el nivel de turbidez en conductos.

El control de la turbidez va a ser necesario para el mejor rendimiento del proceso de filtrado de arena.

El modelo que se usará para el sensor de caudal será "VISOTURB 700 IQ" cuyas características se muestran en el anexo I

5.3 Sonda de cloro

Las sondas de medida para cloro libre se basan en un sistema de medida amperométrico de dos electrodos cubiertos por una membrana sensible al elemento a medir.

El electrodo de medición (cátodo) es de oro. Las funciones de referencia y de electrodo de masa, están reunidas en un ánodo de plata cubierto por un lado de cloruro de plata.

5.4 Sonda de pH

La sonda de pH, también llamada pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución.

La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones.

En consecuencia se conoce muy bien la sensibilidad y la selectividad de las membranas de vidrio frente al pH.

Una celda para la medida de pH consiste en un par de electrodos, uno de cloruro de mercurio (calomelano) y otro de vidrio, sumergidos en la disolución en la que queremos encontrar el pH.

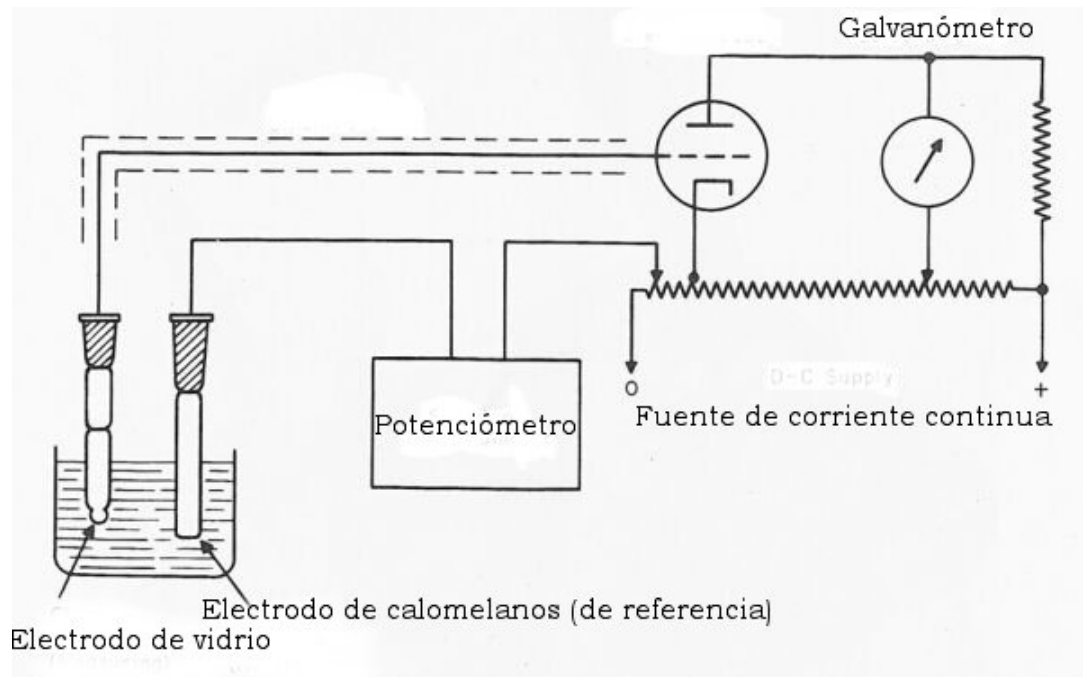
La varita de soporte del electrodo es de vidrio común y no es conductor, mientras que el bulbo sensible, que es el extremo sensible del electrodo, está formado por un vidrio polarizable (vidrio sensible de pH).

Se llena el bulbo con la solución de ácido clorhídrico 0.1N saturado con cloruro de plata. El voltaje en el interior del bulbo es constante, porque se mantiene su pH constante (pH 7) de manera que la diferencia de potencial solo depende del pH del medio externo.

El alambre que se sumerge al interior (normalmente plata o cloruro de plata) permite conducir este potencial hasta un amplificador

El modelo a utilizar es el mostrado en el anexo II, "SENSOLYT 700 IQ"

Un esquema de su funcionamiento es el siguiente:



5.5 Sonda de conductividad

El sensor de Conductividad se puede utilizar para medir la conductividad en una solución o la concentración total de iones en muestras acuosas que se investigan en el campo o en el laboratorio.

El sensor Conductividad mide la capacidad de una solución de conducir una corriente eléctrica entre dos electrodos. En la solución, la corriente fluye por el transporte del ion. Por lo tanto, una gran concentración de iones en la solución dará lugar a valores más altos de conductividad.

El sensor de conductividad medirá realmente la conductancia, definida como el recíproco de la resistencia. La conductancia se mide utilizando la unidad SI, Siemens (formalmente conocida como mho). Puesto que los Siemens es

una unidad muy grande, las muestras acuosas son medidas comúnmente en microsiemens.

Aunque el sensor de conductividad mide la conductancia, a menudo es interesante encontrar conductividad en una solución. La conductividad, C , se obtiene con la fórmula siguiente:

$$C = G \cdot k_c$$

Donde G es la conductancia y el k_c es la constante de la célula. La constante de la célula se determina, para un sensor usando la fórmula siguiente:

$$k_c = d/A$$

Donde d es la distancia entre los dos electrodos, y A es el área de la superficie del electrodo.

Una diferencia potencial se aplica a los dos electrodos del sensor de conductividad. La corriente que resulta es proporcional a la conductividad de la solución. Esta corriente se convierte en un voltaje que se leerá con un potenciómetro.

La corriente alterna se provee para prevenir la migración completa del ion a los dos electrodos. Con cada ciclo de corriente alterna, la polaridad de los electrodos se invierte, la cual, invierte, alternadamente, la dirección del

flujo iónico. Esta es una característica muy importante del sensor de conductividad que evita que la mayoría de la electrólisis y de la polarización ocurran en los electrodos.

De esta manera, las muestras de agua potable que se medirán para la conductividad no se ensucian.

Una de las aplicaciones más comunes del sensor de conductividad es encontrar la concentración de sólidos disueltos totales, o T.D.S., en una muestra de agua. Esto puede ser logrado porque se genera una relación entre conductividad y concentración iónica en una solución, como aquí se muestra. La relación persiste hasta que se alcanzan concentraciones iónicas muy grandes.

El modelo que se utilizarán para la medida de conductividad será "TETRACON 700 IQ" cuyos valores se encuentran en el anexo III.

6. Mantenimiento y explotación

Laboratorio de control de procesos

La planta de tratamiento de agua deberá contar con un laboratorio de control de procesos, donde se puedan controlar los parámetros básicos: turbiedad, color, pH, alcalinidad, cloro residual y coliformes fecales o termotolerantes.

Si no hay control, no se podrá conocer en qué medida la instalación está cumpliendo con sus objetivos de calidad.

En este ambiente debe considerarse un lavadero, un mostrador para operar los equipos y un escritorio o mesa de trabajo para el químico, auxiliar de laboratorio u operador encargado de realizar las pruebas de control de procesos.

La planta deberá contar por lo menos con los equipos necesarios para controlar la eficiencia de los procesos.

Los equipos mínimos que deberá tener el laboratorio para ejecutar el control de los procesos son los siguientes:

Turbidímetro nefelométrico;

Medidor de pH;

Bureta;

Equipo de prueba de jarras, con seis jarras de un litro con deflectores; comparador de cloro;

Vidriería: pipetas, vasitos, baguetas, etc.

Materiales: papel Whatman 40, seis embudos de plástico y vasitos de plástico;

Equipo portátil para la determinación de coliformes totales y termotolerantes por el método de membranas;

Termómetro.

Deberá situarse en ambientes separados el laboratorio de control fisicoquímico y el laboratorio de control bacteriológico.

Podrán efectuarse en la planta los dos programas de control de procesos y de calidad, en el supuesto de que estos laboratorios sean atendidos por personal profesional especializado. El control de los procesos puede ser efectuado por operadores capacitados supervisados por el personal profesional, mientras que el de calidad, por el personal profesional.

7. Evaluación económica

En este apartado se intentará dar una estimación del coste de toda la instalación. Para ello se ha recurrido a diversos fabricantes de equipos así como a constructores que han estimado el coste de los equipos y el de la obra civil.

7.1 Obra civil

Corresponde a los movimientos de tierra, el encofrado, el hormigón y las cimentaciones necesarias, escaleras y cubriciones de las instalaciones.

	Precio unitario	Uds	Precio total
Sistema de elevación	442217,092	1	442217,092
Tamizado	3244,05	4	12976,2
Movimiento de tierra	2,51	15	37,65
Hormigón	85	32	2720
Encofrado y cimentaciones	15,2	32	486,4
Desarenado\desengrasado	5079,433	4	20317,732
Movimiento de tierra	2,51	8,3	20,833
Hormigón	85	43	3655
Encofrado y cimentaciones	15,2	43	653,6
Cubrición	75	10	750
Filtros de arena	14620,68	7	102344,76
Movimiento de tierra	2,51	108	271,08
Hormigón	85	123	10455
Encofrado y cimentaciones	15,2	123	1869,6
Cubrición	75	27	2025

Cámara de cloración	73380	1	73380
Movimiento de tierra	2,51	1200	3012
Hormigón	85	590	50150
Encofrado y cimentaciones	15,2	590	8968
Cubrición	75	150	11250

	Precio unitario	Uds	Precio total
Filtros de carbón	32258,4	6	193550,4
Movimiento de tierra	2,51	240	602,4
Hormigón	85	280	23800
Encofrado y cimentaciones	15,2	280	4256
Cubrición	75	48	3600
Cámara de mezcla	39648	1	39648
Movimiento de tierra	2,51	300	753
Hormigón	85	350	29750
Encofrado y cimentaciones	15,2	350	5320
Cubrición	75	51	3825

El precio total estimado de la obra civil necesaria para el desarrollo del proyecto será de 885000 €.

7.2 Equipos electromecánicos

Se trata de los compresores de aire, bombas de agua, depósitos de almacenamiento, falsos fondos de los filtros, puentes grúa, válvulas, tuberías... necesarios en la instalación del proyecto.

	Precio unitario	Uds	Precio total
Sistema de elevación			
Bomba de elevación	40000	3	120000
Válvulas y tuberías	12000	1	12000
Tamizado			
Tamiz	9000	4	36000
Válvulas y tuberías	2700	1	2700
Desarenado\desengrasado			
Soplante de aire	8400	4	33600
Compresor de succión de lodo	12000	4	48000
Válvulas y tuberías	3600	1	3600

	Precio unitario	Uds	Precio total
Filtros de arena			
Falso fondo	900	189	170100
Soplante aire de lavado	8500	2	17000
Bomba agua de lavado	30000	2	60000
Válvulas y tuberías	9000	1	150000
Cámara de cloración			
Depósito de cloro	14000	1	14000
Bomba de dosificación	2000	2	4000
Válvulas y tuberías	4200	1	4200
Filtros de carbón			
Falso fondo	900	288	259200
Bomba de elevación a filtro	40000	3	120000
Soplante de aire de lavado	12000	2	24000
Bomba de agua de lavado	7500	2	15000
Puente grúa	13000	1	13000
Válvulas y tuberías	2250	1	2250
Cámara de mezcla			
Depósito de cloro	14000	1	14000
Depósito de amonio	14000	1	14000

Sistema de elevación de cloro	2000	2	4000
Sistema de elevación de amonio	2000	2	4000
Válvulas y tuberías	4200	1	4200

El precio total estimado de los equipos electromecánicos es de 1133600 €.

7.3 Instrumentación

Corresponde a los instrumentos necesarios para examinar la cantidad y calidad del agua:

Instrumentación	
Caudalímetro	3000
Sonda de turbidez	700
Sonda de cloro	700
pH-metro	500
Sonda de conductividad	600

El precio total estimado de la instrumentación será de 5500 €.

7.4 Instalación eléctrica, telemando y control

La instalación eléctrica contará con las líneas eléctricas, transformadores, cuadros de control, alumbrado, red de tierra, pararrayos...

El coste estimado de la instalación eléctrica será de 1000000 €.

El telemando y control incluye el panel de control y el material de emergencias, con un coste estimado de 300000 €.

7.5 Adecuación ambiental y plan de gestión de residuos

La restauración de la flora del lugar será la medida para minimizar los daños producidos por la instalación.

El presupuesto estimado para la adecuación ambiental será de 600 €.

El plan de gestión de residuos incluye el transporte de residuos de la fabricación al vertedero. El presupuesto estimado para este proceso será de 750000 €.

7.6 Presupuesto final

El presupuesto total de la instalación será de 3500000 €.

8. Bibliografía

Metcalf & Eddy; *Wastewater engineering: treatment and reuse*.

Ricardo Isla de Juana; *Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: aguas de proceso, residuales y de refrigeración*.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, *Las aguas subterráneas*.

(<http://hispagua.cedex.es>)

Dirección general de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo; *RD140-03 Real Decreto de la calidad de las aguas potables*

Ministerio de desarrollo económico, Dirección de agua potable y saneamiento básico, República de Colombia; *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000*.

Antonio Aznar Jiménez; *Ejemplos de adecuación tecnológica: agua*.

(<http://www.uc3m.es>)

CEPIS Manual I; *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración*.

CEPIS Manual II; *Tratamiento de agua para consumo humano. Diseño de plantas de tecnología apropiada.*

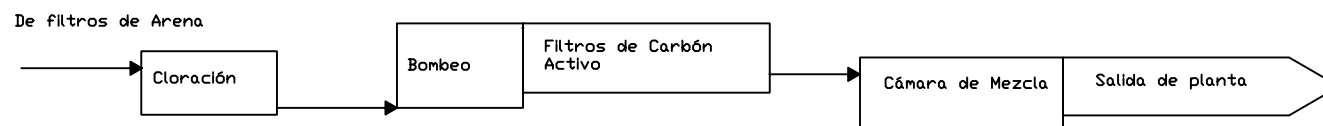
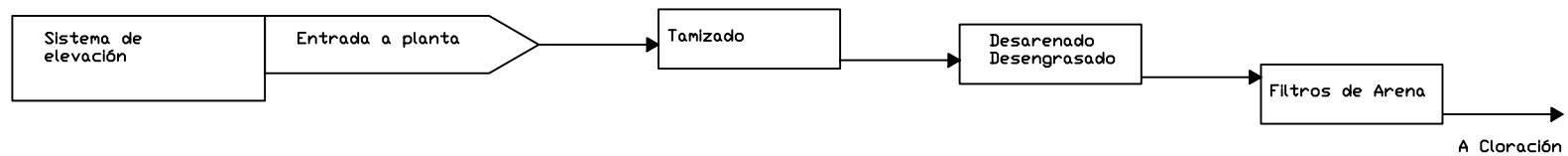
CEPIS Manual III; *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida.*

Antonio Aznar Jiménez; *Ingeniería ambiental.*

(www.uc3m.es)

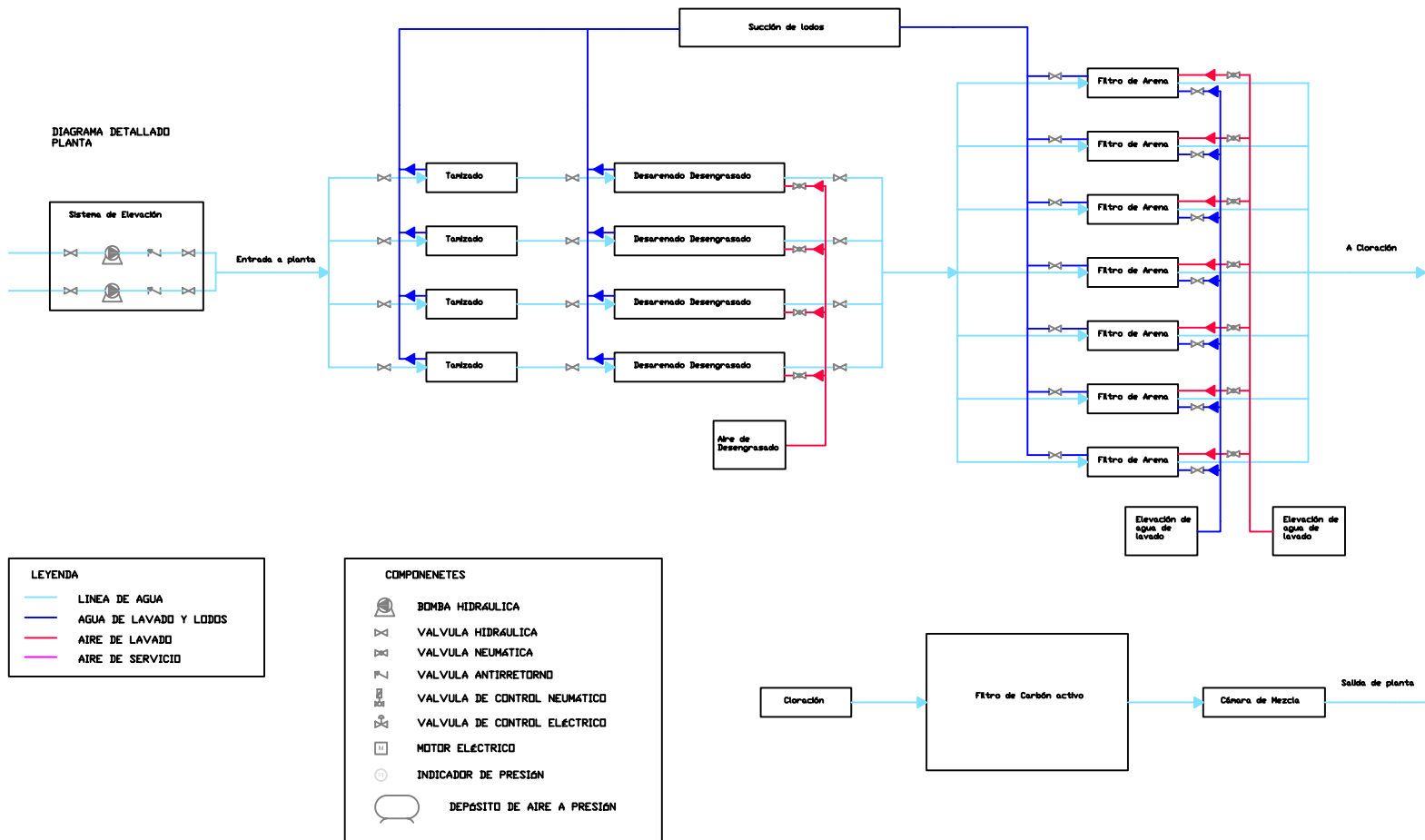
9. Planos

PLANO 1 ESQUEMA DE PLANTA

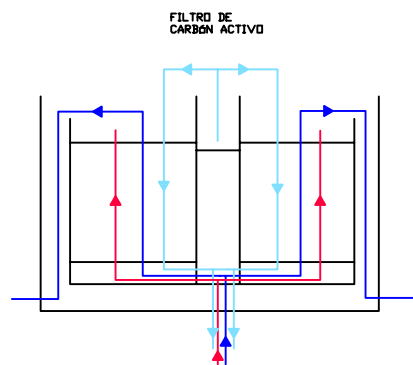
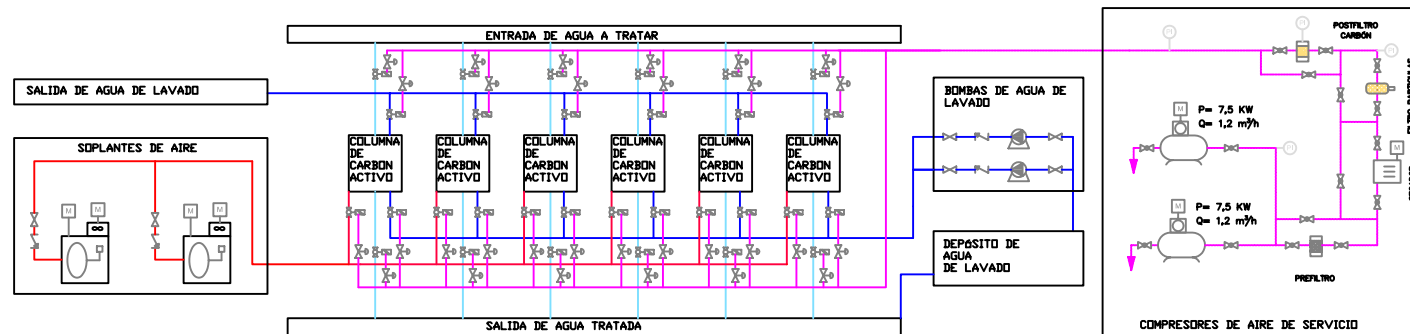


PLANO 2 DIAGRAMA DE PLANTA

DIAGRAMA DETALLADO PLANTA



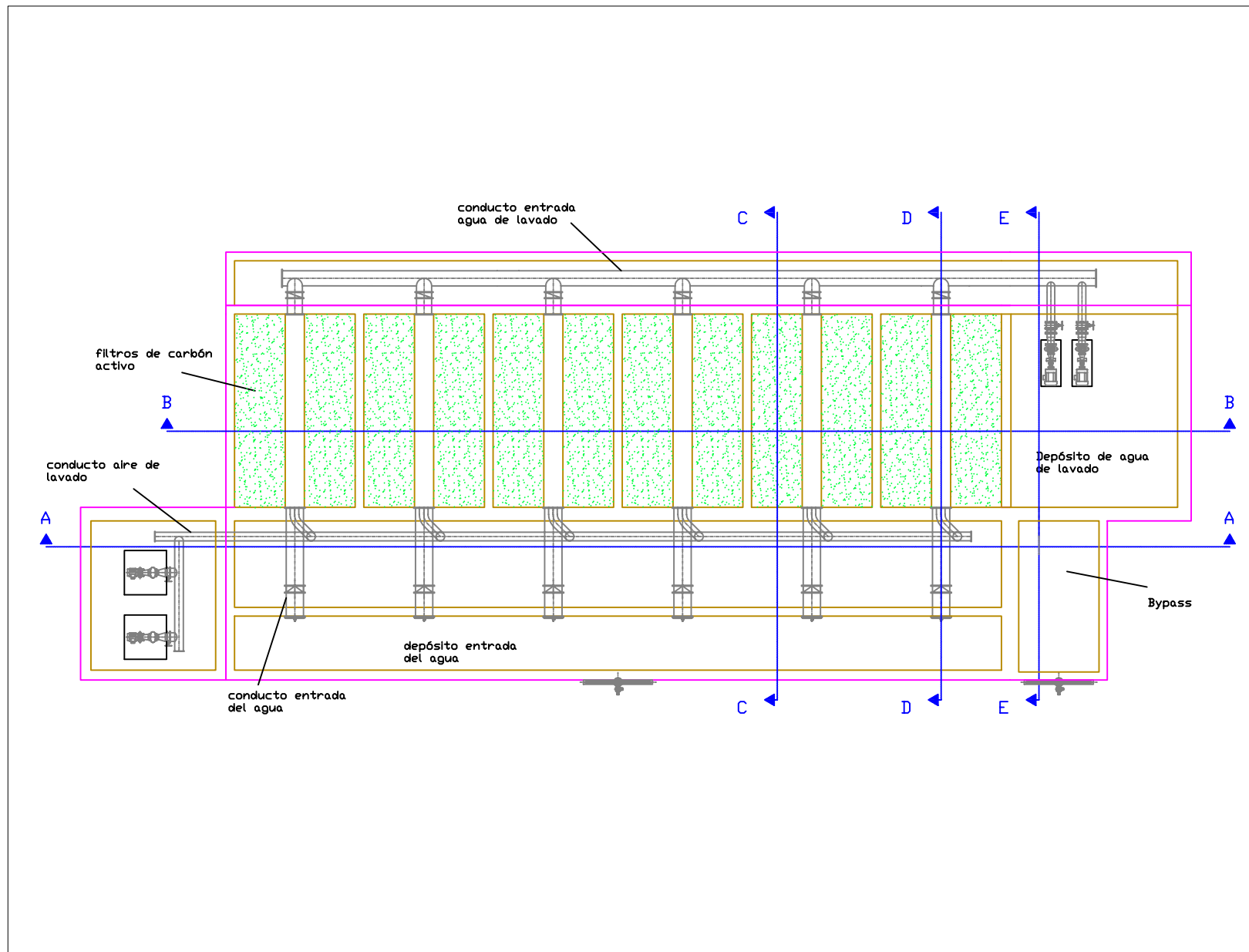
PLANO 3 DIAGRAMA DE CARBÓN ACTIVO



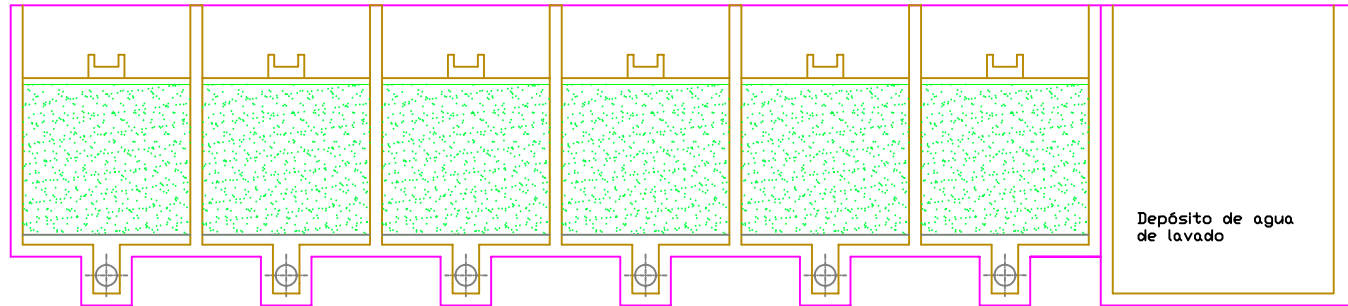
- LEYENDA**
- LINEA DE AGUA
 - AGUA DE LAVADO
 - AIRE DE LAVADO
 - AIRE DE SERVICIO

- COMPONENTES**
- BOMBA HIDRAULICA
 - VALVULA HIDRAULICA
 - VALVULA NEUMATICA
 - VALVULA ANTIRRETORNO
 - VALVULA DE CONTROL NEUMATICO
 - VALVULA DE CONTROL ELECTRICO
 - MOTOR ELECTRICO
 - INDICADOR DE PRESION
 - DEPÓSITO DE AIRE A PRESION

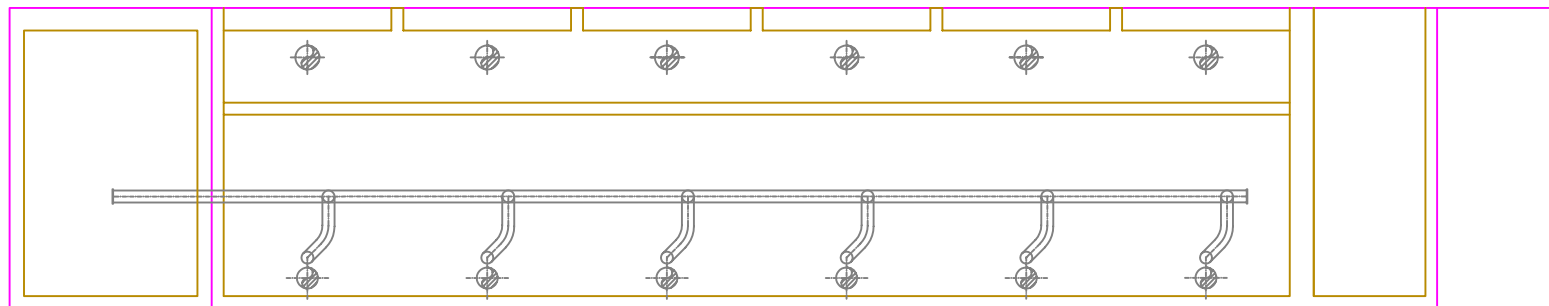
PLANO 3 CARBÓN ACTIVO PLANTA

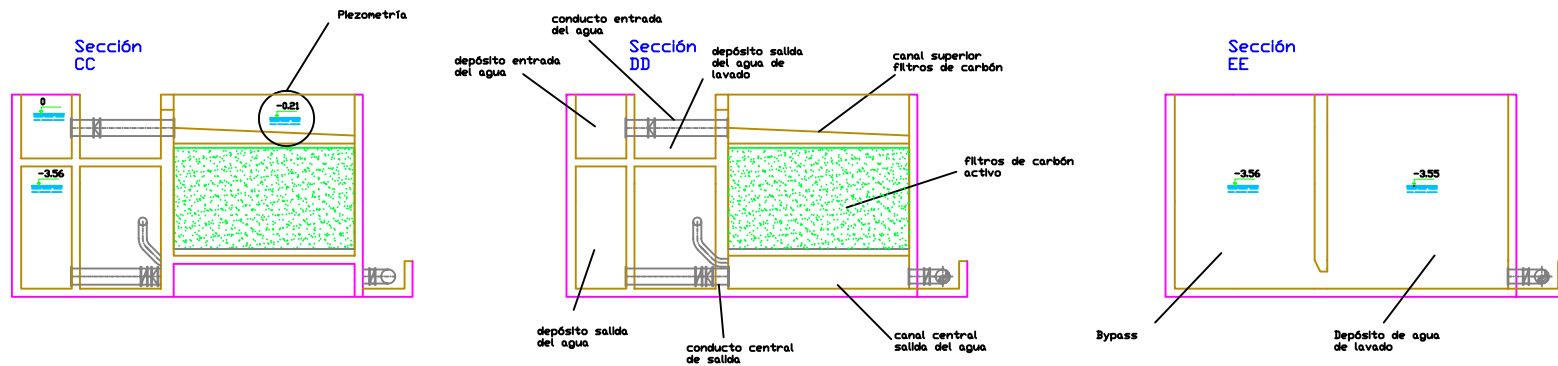


Sección
BB



Sección
AA





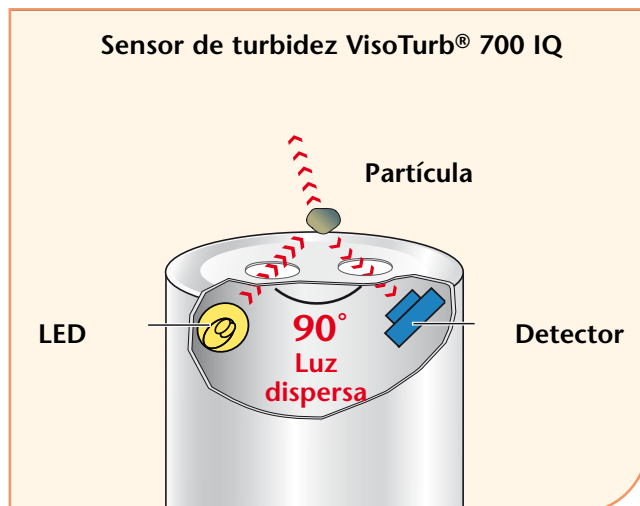
10. Anexos

ANEXO I

Sensor de turbidez VisoTurb®

Medición de turbidez de acuerdo al principio Nefelométrico

Bajo este método la luz dispersa se mide a un ángulo de 90 grados. Es ideal para turbidez en los rangos medio y bajo hasta 4000 FNU. Según la norma EN 27027 y ISO 7027, se utiliza una luz infrarroja con una longitud de onda de 860 nm. Claramente fuera del rango visible, este haz de luz no se ve afectado por los colores de la muestra.



Información Técnica Viso Turb® 700 IQ

Parámetro	FNU; NTU; TEF	mg/l SiO ₂ ; ppm SiO ₂	g/l TSS
Rango de medición	0.05 ... 4000 FNU	0.1 ... 4000 mg/l SiO ₂	0.0001 ... 400 g/l TSS
Aplicaciones típicas	Agua potable, aguas superficiales, plantas de tratamiento de aguas: salida, tanque de aereación ≤3 g/l TSS		
Calibración	Calibración de fábrica con formazin	Calibración de fábrica con SiO2	Calibración de usuario, los TSS están regulados por la norma DIN 38414
Coeficiente de variación del proceso según la norma DIN 38402 parte 51	<1 % (en el rango de hasta 2000 FNU)		
Repetibilidad según las normas DIN ISO 5725 o DIN 1319	< 0,015 % o ≥0,006 FNU		
Resolución	Automática, según el rango de medición 0.001 ... 1 FNU	0.001 mg/l ... 0.01 g/l	0.001 mg/l ... 0.1 g/l
Sistema de limpieza	Limpiador ultrasónico		
SensCheck	Detecció de contaminantes en la ventana óptica; fallos del limpiador		
Condiciones ambientales	Temperatura de operación: limpiador ultrasónico: Temperatura de almacenamiento:	0 ... 60 °C; 0 ... 40 °C (protección para sobrecalentamiento) -5 ... +65 °C	
Componentes mecánicos	Ventana de medición: Cuerpo: Protección:	Zafiro Acero inoxidable V4A 1.4571 IP 68	
Resistencia a la presión	Máximo 10 bar (incluye cable de conexon)		
Consumo de energía	1.5 Watts		
Dimensiones	365 x 40 mm (longitud x diámetro), incluye cable de conexión SACIQ		
Peso	Aprox. 990 g (sin cable)		
Garantía	2 años por defectos de calidad		

Información para ordenar

		No. Orden
VisoTurb® 700 IQ	Sensor de turbidez para agua / aguas residuales con limpiador ultrasónico	600 010
SACIQ-7,0	Cable de conexión para todos los sensores IQ, longitud del cable 7.0 m	480 042

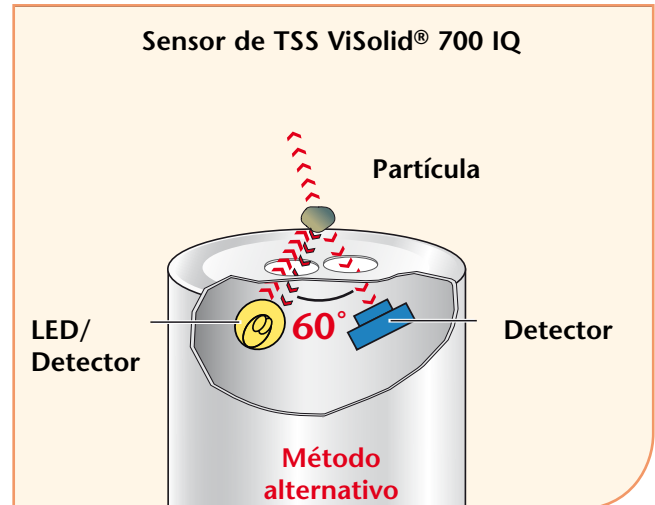


Sensor de TSS ViSolid®

Principio de medición de los sólidos en suspensión

Al incrementar la concentración de sólidos en suspensión, las partículas empiezan a interferir unas con otras por lo que la luz no alcanza a todas o las reflexiones no son detectadas por el aparato. La luz dispersa a 90 grados del método de turbidez solo funciona en concentraciones bajas.

Es por ello que WTW utiliza dos métodos para la medición: el método de luz dispersa es ideal para concentraciones bajas, pero para concentraciones mayores es necesario utilizar un método alternativo.



Información Técnica ViSolid® 700 IQ

Parámetro	g/l SiO ₂ / % SiO ₂	g/l TSS / % TSS
Rango de medición	0.01 ... 300 g/l 0.001 ... 30% SiO ₂	0.003 ... 1000 g/l TSS 0.0003 ... 100% TSS
Aplicaciones típicas	Matriz 1: tina de aereación de plantas de tratamiento de aguas con TSS >3g/l; lodo reciclado Matriz 2: lodo digerido	
Calibración	Memoria para características típicas del lodo: matriz 1, matriz 2 Calibración del usuario: ajuste con factor de corrección, de un punto o de puntos múltiples	
Coefficiente de variación del proceso según la norma DIN 38402 parte 51	<2 % matriz 1, <4 % matriz 2	
Resolución	Automática, según el rango de medición 0.01 g/l ... 1 g/l	0.01 g/l ... 1 g/l
Sistema de limpieza	Limpiador ultrasónico	
SensCheck	Detección de contaminantes en la ventana óptica; fallos del limpiador	
Condiciones ambientales	Temperatura de operación: 0 ... 60 °C; Temperatura de almacenamiento: -5 ... +65 °C	
Componentes mecánicos	Ventana de medición: Zafiro Cuerpo: Acero inoxidable V4A 1.4571 Protección: IP 68	
Resistencia a la presión	Máximo 10 bar (incluye cable de conexión)	
Consumo de energía	1.5 Watts	
Dimensiones	365 x 40 mm (longitud x diámetro), incluye cable de conexión SACIQ	
Peso	Aprox. 990 g (sin cable)	
Garantía	2 años por defectos de calidad	

Información para ordenar

	No. Orden
ViSolid® 700 IQ	Sensor de sólidos en suspensión para agua / aguas residuales con limpiador ultrasónico 600 012
SACIQ-7,0	Cable de conexión para todos los sensores IQ, longitud del cable 7.0 m 480 042



ANEXO II

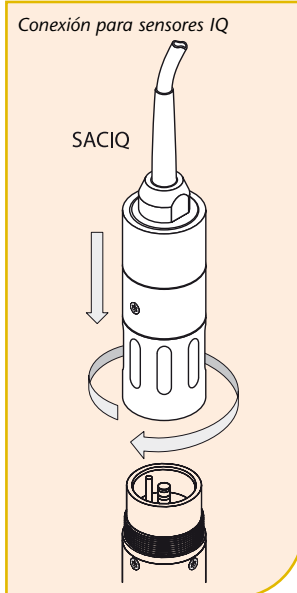
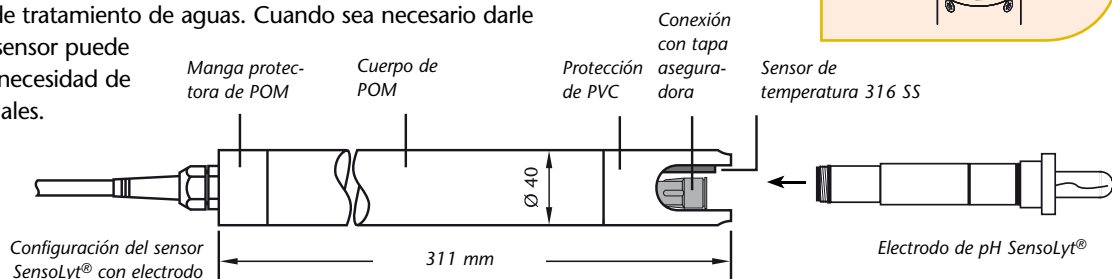
Montajes para de los electrodos SensoLyt®

Los cuerpos de montaje para los electrodos SensoLyt® tienen una variedad de funciones:

- **Preamplificación** de la señal del electrodo
- Soporte para un **sensor de temperatura** NTC
- **Protección** del electrodo contra daños mecánicos
- Procesamiento digital de las señales con memoria para datos de calibración (sensores IQ)

Los electrodos pH/ORP son muy susceptibles a ruido e interferencias debido a el bajo voltaje de la señal que emiten. Es por ello que WTW ha incluido un preamplificador en los cuerpos de montaje de los sensores que asegura baja interferencia y, por ende, una señal confiable incluso en largas distancias como las que se necesitan para los monitores remotos.

Los electrodos SensoLyt® incluyen un termistor NTC para medición y compensación automática de la temperatura, lo que permite que tanto el pH / ORP como la temperatura puedan medirse de manera simultánea con una sola sonda. El robusto diseño del sensor le provee de protección mecánica contra las agresivas y rigurosas condiciones de operación de una planta industrial o de tratamiento de aguas. Cuando sea necesario darle mantenimiento, el sensor puede ser remplazado sin necesidad de herramientas especiales.



Analógico

SensoLyt® 700

En su versión estándar, el SensoLyt® 700 incluye un preamplificador y un sensor de temperatura NTC hecho de acero inoxidable; todo con protección anti-rayos. Al combinarlo con un monitor WTW, un circuito especial revisará la integridad del cristal del electrodo. Este cuerpo de montaje puede recibir cualquier electrodo combinado SensoLyt®. Es compatible con todos los monitores WTW de las series EcoLine y QuadroLine®.

SensoLyt® 690

Igual que el SensoLyt® 700, pero sin la función SensCheck.

SensoLyt® 650

Esta es una unidad pasiva sin preamplificador diseñada para operaciones de alta impedancia donde el electrodo se conecte directamente al monitor.

Compatible con los monitores WTW:
pH 170 y pH 296 o Stratos 2211 X pH.

Digital

SensoLyt® 700 IQ

Cuerpo de montaje digital pH/ORP con preamplificador, protección anti-rayos, y sonda de temperatura integrada para conexión a un IQ SENSOR NET. Un circuito especial permite monitorear la integridad del cristal del electrodo. Una memoria de calibración permite almacenar los valores para fijarlos en el laboratorio. Gracias a la unión de fácil ajuste, es posible llevarse el electrodo a una calibración y luego regresarlo. Si se cuenta con una conexión IQ en el laboratorio, es posible eliminar las adversas condiciones de calibración en campo.

Información Técnica para los Montajes de los Sensores SensoLyt®				
Modelo	Analógico			Digital
	SensoLyt® 700 (SW*)	SensoLyt® 690	SensoLyt® 650	SensoLyt® 700 IQ (SW*)
Preamplificador integrado	Si	Si	No	Si
Señal de salida	Baja impedancia, analógico	Baja impedancia, analógico	Alta impedancia	Digital
Sensor check funktion	Si	No	No	Si
Memoria para valores de calibración	—			Si
Consumo de energía	—			0.2 Watt
Medición de temperatura	NTC Integrado, 0 ... +60 °C			NTC integrado, -5 ... +60 °C
Condiciones ambientales	Temperatura de operación: 0 ... +60 °C			Temperatura de operación: 0 ... +60 °C
Conexión eléctrica	Cable de conexión PU integrado con conector roscado de 7 polos (IP 65)		Cable de conexión PU con extremos abiertos	Cable blindado de 2 conductores con cierre rápido en la sonda
Protección de voltaje transitorio	Si			Si
Cumplimientos EMI/RFI	EN 61326 clase B, FCC Clase A			EN 61326 clase B, FCC Clase A para operación indispensable
Certificaciones	CUL, UL			CE, cETLus
Mecánica	Cuerpo: POM tapa protectora: PVC Protección: IP 68			Cuerpo: acero inoxidable 316 Ti Tapa: PVC Soporte del sensor: POM Protección: IP 68
Dimensions (L x D)	311 x 40 mm; SW: 318 x 59.5 mm			508 x 40 mm; SW: 515 x 59.5 mm
Peso (sin cable)	Approx. 320 g; SW: aprox. 880 g			970 g; SW: aprox. 1.800 g
Garantía	2 años por defectos de calidad			2 años por defectos de calidad

Información técnica de los electrodos combinados SensoLyt®

Type	SEA/SE**	SEA-HP	DWA/DW**	ECA/EC**	PtA/Pt**
Tipo de electrodo	Electrolito en gel, diafragma de doble penetración		Electrolito en gel con diafragma de penetración sencilla	Electrolito en gel diafragma de penetración sencilla	Electrolito en gel, diafragma de doble penetración
Condiciones de operación (presión excesiva / temperatura)	10 bar/20 °C 1 bar/60°C	10 bar/60°C	6 bar / 20 °C 1 bar / 60°C	6 bar / 20 °C 1 bar / 60°C	10 bar / 20 °C 1 bar / 60°C
	0 ... 60 °C	0 ... 60 °C	0 ... 60 °C	0 ... 60 °C	0 ... 60 °C
Rango de medición	2 ... 12 pH	4 ... 12 pH	0 ... 14 pH	2 ... 12 pH	±2000 mV***
Mecánica	Membrana cilíndrica de cristal, versión con armadura de PVC (SEA-HP: POM), anillos O de 2 vitónes para montaje en conjunto con los sensores SensoLyt®				
Dimensiones	Longitud 120 mm (sin cabezal)				
Conexión eléctrica	Cabezal de conexión resistente al agua				
Garantía	6 meses por defectos de calidad				

Información para ordenar

SensoLyt® Sensors		No. Orden
SensoLyt® 700-7	Sensor pH/ORP con preamplificador integrado; longitud del cable 7.0 m	109 191
SensoLyt® 690-7	Igual al modelo 700-7, pero sin SensCheck	109 180
SensoLyt® 650-7	Sensor pH/ORP para operación de alta impedancia; longitud del cable 7.0 m (para SensoLyt® SEA, DWA, ECA, PtA)	109 195
SensoLyt® 700 IQ	Sensor pH/ORP para electrodos combinados SensoLyt® SEA, DWA, ECA, PtA	109 170
SACIQ-7,0	Cable de conexión para todos los sensores IQ, longitud del cable 7.0 m	480 042
Electrodos combinados SensoLyt®		No. Orden
SensoLyt® SEA	Electrodo combinado de pH, rango de medición 2 ... 12 pH, para cuerpos de montaje SensoLyt®	109 115
SensoLyt® SEA-HP	Electrodo combinado de pH, rango de medición 4 ... 12 pH, para cuerpos de montaje SensoLyt®	109 118
SensoLyt® DWA	Electrodo combinado de pH, rango de medición 0 ... 14 pH, para cuerpos de montaje SensoLyt®	109 119
SensoLyt® ECA	Electrodo combinado de pH, rango de medición 2 ... 12 pH, para cuerpos de montaje SensoLyt®	109 117
SensoLyt® PtA	Electrodo combinado ORP, rango de medición ± 1000 mV, para cuerpos de montaje SensoLyt®	109 125
SensoLyt® SE	Igual al modelo SEA, pero con armadura; p.e. para uso en contenedores de flujo	109 100
SensoLyt® DW	Igual al modelo DWA, pero con armadura ; p.e. para uso en contenedores de flujo	109 103
SensoLyt® EC	Igual al modelo ECA, pero con armadura ; p.e. para uso en contenedores de flujo	109 102
SensoLyt® Pt	Igual al modelo PtA, pero con armadura ; p.e. para uso en contenedores de flujo	105 412

Para otras longitudes de cable y diseños especiales para agua marina, soluciones buffer y otras aplicaciones vea "Detalles del Producto"



*on armature

* SW: Sensor para agua marina (con armadura plástica (POM))

** Electrodo sin armadura para uso en contenedores de flujo

*** Depende del monitor

ANEXO III

Información Técnica para Celdas de Conductividad

Modelo	Analógico			Digital
	TetraCon® 700 (SW**)	LRD 01	LRD 325	TetraCon® 700 IQ (SW**)
Tipo de electrodo	celda de 4 electrodos	celda de 2 electrodos	celda de 4 electrodos	celda de 4 electrodos
Rango de medición	10 µS/cm ... 1000 mS/cm * SAL: 0 ... 70	0.001 ... 200 µS/cm	1 µS/cm ... 2 S/cm	10 µS/cm - 500 mS/cm SAL: 0 ... 70 TDS: 0 ... 2000 mg/l
Constante de la celda	K = 0.917 cm ⁻¹ , ±1.5% (en solución libre) K = 0.933 cm ⁻¹ , con adaptador de flujo EBST 700- DU/N	0.1 cm ⁻¹ , ±2%	0.475 cm ⁻¹ , ±1.5%	K = 0.917 cm ⁻¹ , ±1.5% (en solución libre) K = 0.933 cm ⁻¹ , con adaptador de flujo EBST 700- DU/N
Señal de salida	Analógica	Analógica	Analógica	Digital
Consumo de energía	—	—	—	0.2 Watt
Sensor de temperatura	NTC Integrado	NTC Integrado	NTC Integrado	NTC Integrado
Medición de temperatura	0...+50 °C, ±0.2 K	0...+130 °C, ±0.2 K	0...+100 °C, ±0.2 K	-5...+60 °C
Presión máxima	10 bar (a 20 °C)	10 bar (a 20 °C)	10 bar (a 20 °C)	10 bar
Conexión eléctrica	Cable de conexión PU con rosca 7 pines (IP 65)			Cable blindado de 2 conductores con cierre rápido en la sonda
Certificaciones	CE, CUL, UL			CE, cETL, ETL
Mecánica	Cabezal: PVC Cuerpo: Acero inoxidable 316 Ti Protección: IP 68	Cuerpo: Acero inoxidable 316 Ti Hilo: NPT de 1/2 pulgada Aislación: PEEK Protección: IP 68	Celda: Epoxy / Grafito Hilo: acero inoxidable 316 Ti Protección: IP 68	Cabezal: PVC Cuerpo: Acero inoxidable 316 Ti Protección: IP 68
Dimensiones (Longitud x Diámetro)	196 x 40 mm; SW: 223 x 59,5 mm	133 x 25 mm	133 x 25 mm	357 x 40 mm (incluye la conexión del sensor SACIQ); SW: 357 x 59,5 mm
Peso (sin cable)	Aprox. 660 g; SW: aprox. 860 g	Aprox. 350 g	Aprox. 300 g	Aprox. 660 g; SW: aprox. 1.170 g
Garantía	2 años por defectos de calidad	2 años por defectos de calidad	2 años por defectos de calidad	2 años por defectos de calidad

Información Técnica para Celdas de Conductividad para Aplicaciones Especiales

Modelo	TetraCon® 325	TetraCon® DU/T	LR 325/01	LR 325/001
Tipo de electrodo	celda de 4 electrodos	celda de 4 electrodos	celda de 2 electrodos	celda de 2 electrodos
Electrodo	Carbono	Carbono	Acero inoxidable 316 Ti	Acero inoxidable 316 Ti
Rango de medición	1 µS/cm ... 2 S/cm	1 µS/cm ... 2 S/cm	0.001 µS/cm ... 200 µS/cm	0.0001 µS/cm ... 30 µS/cm
Constante de la celda	K = 0.475 cm ⁻¹	K = 0.778 cm ⁻¹	K = 0.1 cm ⁻¹	K = 0.01 cm ⁻¹
Sensor de temperatura	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Medición de flujo	Si, con cámara de flujo adicional, D 201	Si	Si, con cámara de flujo adicional D01/T	Si, con cámara de flujo adicional
Dimensiones (Longitud x Diámetro)	120 mm/15.7 mm	155 mm/10 mm	120 mm/12 mm	120 mm/20 mm
Garantía	2 años por defectos de calidad	2 años por defectos de calidad	2 años por defectos de calidad	2 años por defectos de calidad

Información para ordenar

Celdas de conductividad	No. Orden
TetraCon® 700-7	Sensor de conductividad sumergible para agua/aguas residuales, longitud del cable 7.0 m 302 316
LRD 01-7	Sensor de conductividad sumergible para agua de calentador/intercambiador de iones, longitud del cable 7.0 m 302 222
LRD 325-7	Sensor de conductividad sumergible para agua/aguas residuales, longitud del cable 7.0 m 302 229
TetraCon® 700 IQ	Sensor de conductividad sumergible para agua/aguas residuales 302 500
SACIQ-7,0	Cable de conexión para todos los sensores IQ, longitud del cable 7.0 m 480 042

Analógico:



Digital:



Para cables de otras longitudes, diseños para agua de mar o accesorios, vea el folleto "Detalles de Producto"

* compatible con el monitor 170/296: hasta 200 mS/cm

** SW: Disponible en diseño para agua marina (con armadura de plástico - POM)

Guía de Configuración

		1. Rango de medición 2. Constante de la celda 3. Tipo de sonda 4. Compensación de la temperatura 5. Tango de temperatura 6. Rango de presión 7. Protección	EcoLine LF 170 Monitor de campo	QuadroLine® LF 296 Para montaje en panel	IQ SENSOR NET Sistemas 182/2020 XT
Analógico	TetraCon® 700	1.: 10 µS/cm...1000mS/cm 2.: K=0.917 cm ⁻¹ 3.: celda de 4 electrodos 4.: NTC 5.: 0...50 °C 6.: 10 bar 7.: IP 68 (electrodo)	Agua / Aguas Residuales Rango de Uso: 0,0..199,0 µS/cm 0,000..1,999 mS/cm 0,00..19,99 mS/cm 0,0..199,9 mS/cm 0...50 °C		—
	LRD 01	1.: 0,01..200 µS/cm 2.: K=0.1 cm ⁻¹ 3.: celda de 2 electrodos 4.: NTC 5.: 0...130 °C 6.: 14 bar (20 °C) 7.: IP 68 (electrodo)	Agua para calentadores; Medición en línea/ Montaje para tuberías con guía de 1/2" NPT Rango de uso: 0,00..19,99 µS/cm 0,0..199,9 µS/cm 0...130 °C; 14 bar (20 °C)		KI/LF-MIQ/S 505 543
	LRD 325	1.: 1 µS/cm...2 S/cm 2.: K=0.475 cm ⁻¹ 3.: celda de 4 electrodos 4.: NTC 5.: 0...100 °C 6.: 10 bar 7.: IP 68 (electrodo)	Amplio rango de uso; medición en línea/ Montaje para tuberías con gtuía de 1/2" (Adaptador de 3/4") NPT 0,0..199,0 µS/cm 0..1999 µS/cm 0,00..19,99 mS/cm 0,0..199,9 mS/cm (MR: 0,0..199,9 mS/cm a 110,0 mS/cm a 50 °C) 0...100 °C; 10 bar a 20 °C		KI/LF-MIQ/S 505 543
	LR 325/01	1.: 0.001...300 µS/cm 2.: K=0.1 cm ⁻¹ 3.: celda de 2 electrodos 4.: NTC 5.: 0...100 °C 6.: 2 bar 7.: IP 68 (electrodo)	Agua para calentadores / Intercambiador de lones; Celda de conductividad con cámara de flujo; Rango de uso: 0,00..19,99 µS/cm 0,0..199,9 µS/cm 0,000..0,200 mS/cm 0...50 °C		KI/LF-MIQ/S 505 543 + ADA/AMPH-LAB-LF 303 212
	LR 325/001	1.: 0.0001.. 30 µS/cm 2.: K=0.01 cm ⁻¹ 3.: celda de 2 electrodos 4.: NTC 5.: 0...100 °C 6.: 2 bar 7.: IP 68 (electrodo)	Agua para calentadores / Intercambiador de lones; Celda de conductividad con cámara de flujo; medición de trazas Rango de uso: 0.000..1.999 µS/cm 0.00..19.99 µS/cm 0...50 °C		KI/LF-MIQ/S 505 543 + ADA/AMPH-LAB-LF 303 212
	TetraCon® 325	1.: 1 µS/cm..2 S/cm 2.: K=0.475 cm ⁻¹ 3.: celda de 4 electrodos 4.: NTC 5.: 0...100 °C 6.: 2 bar 7.: IP 68 (electrodo)	Aplicacione generales / agua; amplio rango de medición 0.00..19.99 µS/cm 0.0..199.9 µS/cm 0.000..1.999 mS/cm 0.00..19.99 mS/cm 0.0..199.9 mS/cm (0...25 °C) 0...50 °C (MR: 0.0..199.9 mS/cm hasta 110.0 mS/cm a 50 °C)		KI/LF-MIQ/S 505 543 + ADA/AMPH-LAB-LF 303 212
	TetraCon® DU/T	1.: 1 µS/cm..2 S/cm 2.: K=0.778 cm ⁻¹ 3.: celda de 4 electrodos 4.: NTC 5.: 0...60 °C 6.: 2 bar 7.: IP 65	Celda de flujo Rango de uso: 0.00..19.99 µS/cm 0.0..199.9 µS/cm 0.000..1.999 mS/cm 0.00..19.99 mS/cm 0.0..199.9 mS/cm 0...50 °C		KI/LF-MIQ/S 505 543 + ADA/AMPH-LAB-LF 303 212 + KKDU 325 301 963
Digital	TetraCon® 700 IQ	1.: 10 µS/cm..500 mS/cm 2.: K=0.917 cm ⁻¹ 3.: celda de 4 electrodos 4.: NTC 5.: 0...60 °C 6.: 10 bar 7.: IP 68 (electrodo)	—	—	Agua / agua residual; Rango de uso: 0.00...20.00 µS/cm 0.0...200.0 µS/cm 0.000...2.000 mS/cm 0.00...20.00 mS/cm 0.0...200.0 mS/cm 0...500 mS/cm

— No Aplica



IZASA, S.A.
Tecnología y Servicio

Documento emitido en:
Aragón, 90
08015 BARCELONA
Tel: 93 401 01 01 - Fax: 93 323 03 17



Grupo Industria e
Investigación



Grupo Hospital



Grupo Laboratorio

ORIGINAL

Página 1

Destinatario Mercancia

Destinatario Factura - Pagador

UNIVERSIDAD CARLOS III
CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES
AVDA.UNIVERSIDAD, 30
28911 LEGANES
Madrid

Q2818029G

Código de Cliente		Factura Nº.:	Fecha Factura:	Almacén
137194	FACTURA PROFORMA	31178492	10.05.2006	

Código de Artículo	Descripción del Producto	Cantidad	Precio Unitario	Importe	
233470014	MIQ/S 184 XT-H3	1	8.342,00	8.342,00	16
233109170	SENSOLYT® 700 IQ	1	0,00	0,00	16
233480042	SACIQ-7,0	1	0,00	0,00	16
233109115	ELECTRODO SENSOLYT SEA	1	0,00	0,00	16
233302500	TETRACON® 700 IQ	1	0,00	0,00	16
233480042	SACIQ-7,0	1	0,00	0,00	16
233201640	TRIOXMATIC® 700 IQ	1	0,00	0,00	16
233480042	SACIQ-7,0	1	0,00	0,00	16
233600010	VISOTURB 700 IQ	1	0,00	0,00	16
233480042	SACIQ-7,0	1	0,00	0,00	16
233480014	MIQ/CR3	1	0,00	0,00	16
Importe Bruto	Descuento		Descuento	Base Imponible	I.V.A./I.G.I.C.
8.342,00				7.191,38	1.150,62 16

TOTAL

8.342,00

Observaciones:

